



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGUNAN
TEROWONGAN BAWAH LAUT JENIS *IMMERSED*
TUNNEL DI SELAT MADURA**

DICKY PRATAMA S
3113100047

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.
Musta'in Arif, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGUNAN
TEROWONGAN BAWAH LAUT JENIS *IMMERSED*
TUNNEL DI SELAT MADURA**

DICKY PRATAMA S
3113100047

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.
Musta'in Arif, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT – RC14-1501

**DESIGN STUDY OF IMMERSED TUNNEL TYPE
UNDERSEA TUNNEL DEVELOPMENT ON MADURA
NARROW**

DICKY PRATAMA S
3113100047

Advisor

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

Musta'in Arif, S.T., M.T.

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING

Faculty of Civil Engineering and Planning

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2017

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGUNAN
TEROWONGAN BAWAH LAUT JENIS IMMERSED
TUNNEL DI SELAT MADURA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DICKY PRATAMA S
Nrp. 3113 100 047

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

2. Musta'in Arif, S.T., M.T.



SURABAYA
MEI, 2017

STUDI PERENCANAAN PEMBANGUYNAN TEROWONGAN BAWAH LAUT JENIS IMMERSED TUNNEL DI SELAT MADURA

Nama Mahasiswa : Dicky Pratama S
NRP : 3113100047
Jurusan : Teknik Sipil, FTSP, ITS
**Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Indra Surya B. Mochtar, M.Sc.,
Ph.D.
Musta'in Arif, S.T., M.T.**

Abstrak

Rencana pemerintah untuk membangun Pelabuhan Tanjung Bumi di pulau Madura untuk membantu kegiatan ekspor dan import untuk mempercepat perekonomian Indonesia. Oleh karena itu, diperlukan sarana jalan dan jembatan penghubung antara pulau Madura dan pulau Jawa. Jembatan baru yang lebih diperlukan adalah penghubung antara Kota Gresik dan kawasan industri di sebelah utara Surabaya, dan pulau Madura, sedangkan di bagian selatannya sudah ada Jembatan Suramadu. Sebagai alternative yang lebih tepat daripada jembatan penghubung yang baru adalah terowongan immersed tunnel

Terowongan Immersed Tunnel dirasa dapat menjadi salah satu alternatif. Terowongan ini akan di bangun di dasar laut sehingga tidak mengganggu alur pelayaran di atasnya. Selain itu, karena letaknya dibawah laut, maka proses pelaksanaanya lebih mudah dan akan menghasilkan perencanaan yang lebih ekonomis daripada jenis infrastruktur yang lainnya. Sehingga pada tugas akhir ini akan dilakukan studi perencanaan pembangunan terowongan immersed tunnel dapat dibangun.

Hasil dari studi perencanaan ini, Rute terowongan direncanakan di daerah Gresik, Pelabuhan Tanjung Perak, Suramadu dan Terminal Petikemas Surabaya, sedangkan di daerah pulau Madura akan direncanakan berada di daerah kamal. Terowongan akan menyediakan 2 ruang untuk jalan raya dan 2 ruang untuk jalan rel dengan elevasi terowongan berada jauh dibawah draft kapal yang melaluinya. Segmen terowongan telah dilakukan kontrol berat sehingga segmen ini dapat

mengambang di permukaan air pada pelaksanaan dan tetap berada di bawah laut dengan bantuan timbunan backfill.

Pada bagian approach di pulau Jawa akan direncanakan menggunakan metode cut and cover. Metode ini akan menggunakan dinding penahan tanah pada proses penggalian. Dinding penahan tanah akan menggunakan soldier pile didapatkan kedalaman dinding sedalam 23 meter untuk model 1, 30 meter untuk model 2 dan 55 meter untuk model 3. Seluruh 3 model ini dapat menahan gaya buoyancy yang terjadi dalam kondisi hidrostatik.

Kata Kunci : Immersed Tunnel, approach, buoyancy, Soldier Pile.

DESIGN STUDY OF IMMERSED TUNNEL TYPE UNDERSEA TUNNEL DEVELOPMENT ON MADURA NARROW

Student's Name : Dicky Pratama S
NRP : 3113100047
Major : Civil Engineering, FTSP, ITS
Advisor : Prof. Ir. Indra Surya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.
Musta'in Arif, S.T., M.T.

Abstract

Government plans to build Tanjung Bumi Port in Madura Island to help export and import activities to accelerate Indonesia's economy improvement rate. Therefore, a new road and bridge between Madura Island and Java Island is required. The bridge is connecting Gresik City and industrial region at the north side of Surabaya and Madura Island, while the south side already have Suramadu Bridge. Immersed tunnel may be a better alternative than bridges.

Immersed Tunnel can be one of the alternative solution. This tunnel is build on the seabed so it will not obstruct transportation with sea mode above it. Because it placed under seabed, the construction method is easier and will have more economic design than other alternative infrastructure. Therefore, in this final project, study of designing immersed tunnel development, so it can be built.

As the result, immersed tunnel route is built on Gresik area, Terminal Peti Kemas Surabaya, Tanjung Perak Port and beside Suramadu approach, while the other end is planned on kamal region, Madura. This tunnel will accommodate two rooms for railway way, two rooms for highway, and two emergency rooms. Its top elevation is bellow draft elevation in the two ports nearby. during the construction process, this tunnel will be build in segments, and it's weight have been controlled, so it can float during the transport process and permanently placed on the seabed with help of backfill.

At Java island approach side, it design by using cut and cover method. This method is using retaining wall during itu contruction process. The retaining wall is using soldier pile with depth of 23 meter in

model 1, 30 meter for model 2 and 55meter for model 3. Each model's structure can resist buoyancy force during hidrostatic condition.

Kata Kunci : Immersed Tunnel, approach, buoyancy, Soldier Pile.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala rahmat dan berkah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan Judul “Studi Perencanaan Pembanguynan Terowongan Bawah Laut Jenis Immersed Tunnel Di Selat Madura”. Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu dalam penyelesaian Proposal Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Prof. Ir. Indra Surya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah sabar membimbing dan membantu selama proses pembuatan tugas akhir ini.
2. Bapak Musta'in Arif, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan membantu menggunakan salah satu program bantu yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen pengajar di Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya selama masa perkuliahan penulis.
4. Dimas, Adit, Yudha, teman-teman SMITS lainnya, teman-teman CEITS 13 yang telah memberikan *support* selama penulisan tugas akhir ini.
5. Rekan-rekan Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bantuan dan motivasi selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa proposal tugas akhir ini masih kurang sempurna. Maka, dengan hormat, penulis memohon saran dan kritik terhadap tugas akhir ini, sehingga proposal tugas akhir ini dapat menjadi tugas akhir yang lebih baik

Surabaya, Mei 2017

Penulis

**** (Halaman Sengaja Dikosongkan) ****

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR	v
Penulis	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Tugas Akhir	5
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Manfaat Tugas Akhir	6
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Korelasi Data Tanah	7
2.2. Terowongan	8
2.3. Immersed Tunnel	9
2.4. Metode Pelaksanaan Terowongan di Dataran	12
2.5. Perhitungan Daya Dukung Tanah Pondasi Dangkal	14
2.6. Perencanaan <i>Soldier Pile</i>	15
2.7. Tiang Tarik	19
2.8. Perhitungan Tulangan Struktur	19
2.9. Program Bantu	20
2.10. Perkiraan Biaya Pelaksanaan <i>Immersed Tunnel</i>	21
BAB III	23
METODOLOGI DESAIN	23
BAB IV	27
PERHITUNGAN DAN ANALISIS	27
4.1. Rute Alternatif <i>Immersed Tunnel</i>	27
4.2. Perencanaan Rute, Elevasi, Alimen Terowongan	30
4.3. Desain <i>Immersed Tunnel</i>	35
4.4. Perencanaan <i>Tunnel Approach</i>	49
4.5. Perencanaan Metode Pelaksanaan Pembangunan	134
BAB V	142
KESIMPULAN DAN SARAN	142
5.1. Kesimpulan	142
5.2. Saran	143
DAFTAR PUSTAKA	144
LAMPIRAN	146

**** (Halaman Sengaja Dikosongkan) ****

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Jenis-Jenis Terowongan di Bawah air.....	9
Gambar 2. 2	Potongan Melintang Immersed Tunnel	10
Gambar 2. 3	Jenis dan Letak Backfill pada Immersed Tunnel	12
Gambar 2. 4	Beban yang Diterima oleh Struktur pada Metode bottom-up (sumber: Technical Manual for Design and Contruction of Road Tunnels-Civil Element, 2009).....	13
Gambar 2. 5	Beban yang Diterima oleh Struktur pada Metode Top-Down (sumber: Technical Manual for Design and Contruction of Road Tunnels-Civil Element, 2009).....	13
Gambar 2. 6	Faktor Daya Dukung Tanah menurut Terzaghi	15
Gambar 2. 7	Grafik Tekanan Lateral Tanah	16
Gambar 2. 8	Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Metode Stress and Deformation (sumber: Deep Excavation and Practice, 2006).....	17
Gambar 2. 9	Perkiraan biaya oleh TEC Tahun 2014	21
Gambar 3. 1	Tahapan perencanaan terowongan bawah laut.....	23
Gambar 4. 1	Rute Yang Disarankan untuk Pembangunan Terowongan Immersed Tunnel (sumber: peta LPI 1908-1 Gresik, 1993)	27
Gambar 4. 2	Peta dari Approach dari Rute A (sumber: Google Earth)	28
Gambar 4. 3	Peta dari Approach dari Rute B dan C (sumber: Google Maps).....	29
Gambar 4. 4	Peta dari Approach dari Rute d (sumber: Google Earth)	29
Gambar 4. 5	Elevasi Dasar Laut dan Daratan di Sekitar Rute A	31
Gambar 4. 6	Perencanaan Alimen dan Elevasi Terowongan.....	34
Gambar 4. 7	Tempat Pembuatan Segmen Terowongan (kiri: lokasi belum terisi air laut; kanan: lokasi telah terisi air laut) ...	35
Gambar 4. 8	Peraturan Ruang Bebas Kereta Api dengan Jarak Rel 1435mm.....	37
Gambar 4. 9	Penampang Segmen Terowongan Bawah Laut.....	38
Gambar 4. 10	Pembagian Segmen Terowongan di Bawah Laut	39
Gambar 4. 11	Potongan Memanjang Segmen Terowongan	40
Gambar 4. 12	Potongan Terowongan di Ujung Terowongan	40
Gambar 4. 13	Perencanaan Backfill pada Segmen Terowongan	43
Gambar 4. 14	Beban yang Terjadi pada Struktur Segmen Terowongan	47
Gambar 4. 15	Output Bidang Momen SAP2000	47

Gambar 4. 16	Perencanaan Tunnel Approach	50
Gambar 4. 17	Potongan Model 1	51
Gambar 4. 18	Potongan Model 2	51
Gambar 4. 19	Potongan Model 3	51
Gambar 4. 20	Potongan pada Model 1	59
Gambar 4. 21	Penjelasan sisi tekanan lateral tanah.....	60
Gambar 4. 22	Bidang Momen output SAP2000 pada pencarian panjang dinding	63
Gambar 4. 23	Bentuk Deformasi Tiang pada Iterasi Terakhir	70
Gambar 4. 24	Potongan Model 2	71
Gambar 4. 25	Input SAP2000 pada Model 2 untuk menentukan kedalaman dinding	73
Gambar 4. 26	Bidang momen pada penentuan panjang dinding	73
Gambar 4. 27	Input pada SAP 2000 untuk iterasi 1 Model 2.....	76
Gambar 4. 28	Deformasi Tiang yang Terjadi pada Model 2.....	82
Gambar 4. 29	Desain Perencanaan Station Kereta Api	83
Gambar 4. 30	Proses Penggalan Station.....	83
Gambar 4. 31	Hasil SAP2000.	86
Gambar 4. 32	Input Pada Program Bantu SAP2000	88
Gambar 4. 33	Defleksi tiang pada akhir iterasi	95
Gambar 4. 34	Input Beban Lateral dan Tekanan Air di SAP2000	97
Gambar 4. 35	Defleksi Akhir Dinding pada Akhir Penggalan.....	103
Gambar 4. 36	Bidang Momen pada Dinding Model 1	105
Gambar 4. 37	Hasil akhir spColoumn untuk Analisis Penulangan Bored Pile	105
Gambar 4. 38	Penulangan Pada Pelat Lantai Dasar Model 1	108
Gambar 4. 39	Besar Aksial Pelat Akibat Tekanan Lateral Tanah dan Air Pori.....	109
Gambar 4. 40	Momen yang Terjadi di Tengah Bentang (atas) dan di Tumpuan (bawah)	109
Gambar 4. 41	Bidang Momen dan Nilai Momen Maksimum pada Bored Pile.....	112
Gambar 4. 42	Tulangan pada Bored Pile	112
Gambar 4. 43	Beban Aksial pada Pelat di Akhir Penggalan (titik 1: Pelat atas, titik 9: Pelat tengah)	113
Gambar 4. 44	Momen yang Terjadi di Tengah Bentang (kanan) dan di Tumpuan (kiri)	114
Gambar 4. 45	Bidang Momen dari SAP 2000 untuk Pelat Lantai Kendaraan	115

Gambar 4. 46	Besar Bidang Momen yang Terjadi pada Pelat Bawah	117
Gambar 4. 47	Momen yang Terjadi pada Bored Pile	119
Gambar 4. 48	Tulangan Bored Pile	119
Gambar 4. 49	Pejelasan bagian friksi tiang Model 1	121
Gambar 4. 50	Pejelasan bagian friksi tiang Model 2	122
Gambar 4. 51	Pejelasan bagian friksi tiang Model 3	124
Gambar 4. 52	input Geometri pada Plaxis	126
Gambar 4. 53	Pembagian mesh pada program Plaxis v8.2.....	126
Gambar 4. 54	Hasil Horizontal Deflection Plaxis	127
Gambar 4. 55	Deformasi dari Bored Pile Berdasarkan Hasil Plaxis .	127
Gambar 4. 56	Input Geometri pada Plaxis.....	128
Gambar 4. 57	Pembagian mesh pada Model 2	129
Gambar 4. 58	Hasil Plaxis Output: Horizontal Deflection	130
Gambar 4. 59	Input Geometri pada Plaxis.....	131
Gambar 4. 60	Pembagian mesh pada Model 3	132
Gambar 4. 61	Hasil Plaxis pada Akhir Fase 1	133
Gambar 4. 62	Hasil Plaxis pada Akhir Fase 2	133
Gambar 4. 63	Proses Pabrikasi Segmen Terowongan (sumber: http://insights.wsp-pb.com)	134
Gambar 4. 64	Segmen Terowongan yang Telah Siap untuk Ditransportasikan (sumber: Wikipedia.com)	136
Gambar 4. 65	Proses Pembanjiran Segmen terowongan Sebelum Dipindahkan (sumber: http://www.popularmechanics.com)	136
Gambar 4. 66	Proses Transportasi Segmen Terowongan (sumber: http://blog.ramboll.com)	136
Gambar 4. 67	Proses pennenggelaman Segmen Terowongan (sumber: http://blog.ramboll.com)	137
Gambar 4. 68	Proses Penyambungan antar Segmen dengan Sambungan (sumber: Gina Gasket, Trelleborg)	137
Gambar 4. 69	Detail Sambungan Rubber Gasket (sumber: Gina Gasket, Trelleborg)	138
Gambar 4. 70	Proses Pembuatan Bored Pile	140

**** (Halaman Sengaja Dikosongkan) ****

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Korelasi Konsistensi Tanah dengan Data N-SPT dan Data Sondir. (Mochtar, 2012).....	7
Tabel 2. 2 Tabel Korelasi coefficient of subgrade reaction (Bowles, 1996)	7
Tabel 2. 3 Tabel Korelasi Tanah Tak Berkohesi dengan N-SPT (Bowles, 1996)	8
Tabel 2. 4 Tabel Korelasi Modulu Elastisitas Tanah (Braja M Das, 1984)	8
Tabel 4. 1 Kelandaian Maksimum Jalan Rel (sumber: Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia NOMOR: PM. 60 Tahun 2012)	32
Tabel 4. 2 Kedalaman Kolam di Pelabuhan Tanjung Perak dan Teluk Lamong (Sumber: www.pelindo.co.id)	33
Tabel 4. 3 Luas penampang terowongan	39
Tabel 4. 4 Perhitungan titik berat dari segmen terowongan	39
Tabel 4. 5 Kontrol berat pada segmen panjang 100 meter	44
Tabel 4. 6 Kontrol berat pada panjang segmen 150 meter	45
Tabel 4. 7 Tabel Faktor Faktor Daya Dukung Tanah Terzaghi (sumber: Das,2007)	46
Tabel 4. 8 Besar Beban yang Terjadi pada Segmen Terowongan	47
Tabel 4. 9 Perhitungan Tulangan pada Tumpuan	49
Tabel 4. 10 Perhitungan Tulangan pada Lapangan.....	49
Tabel 4. 11 Perbedaan tiap-tiap Model.....	50
Tabel 4. 12 Hasil penyelidikan tanah di Tanah 1	52
Tabel 4. 13 Hasil penyelidikan tanah di Tanah 2	52
Tabel 4. 14 Hasil penyelidikan tanah di Tanah 3	52
Tabel 4. 15 Berat Volume Tanah Jenuh tiap Lapisan Data Tanah 1	53
Tabel 4. 16 Berat Volume Tanah Jenuh tiap Lapisan Data Tanah 2	53
Tabel 4. 17 Berat Volume Tanah Jenuh tiap Lapisan Data Tanah 3	53
Tabel 4. 18 Nilai Kohesi Tanah Lunak Data Tanah 1	54
Tabel 4. 19 Nilai Kohesi Tanah Lunak Data Tanah 2	54
Tabel 4. 20 <i>coefficient of subgrade reaction.</i>	54
Tabel 4. 21 Coefficient of Subgrade Reaction Data Tanah 1	55
Tabel 4. 22 Coefficient of Subgrade Reaction Data Tanah 2	55
Tabel 4. 23 Coefficient of Subgrade Reaction Data Tanah 3	55
Tabel 4. 24 Tabel Nilai Modulus Elastisitas Tanah (B.Das, 2007)	56
Tabel 4. 25 Modulus Elastisitas Tanah 1	56

Tabel 4. 26	Modulus Elastisitas Tanah 2	57
Tabel 4. 27	Modulus Elastisitas Tanah 3	57
Tabel 4. 28	Data Tanah yang digunakan untuk Iterasi Perhitungan.....	60
Tabel 4. 29	Tekanan Lateral Tanah di Sisi Belakang Dinding.....	61
Tabel 4. 30	Tekanan Lateral Tanah di Sisi Depan Dinding	61
Tabel 4. 31	Tekanan Air pori	61
Tabel 4. 32	Besar Beban Tekanan Tanah Lateral Tanah dan Coeficient of Subgrade Reaction di Belakang Dinding Penahan Tanah	62
Tabel 4. 33	Besar Beban Tekanan Tanah Lateral Tanah dan Coeficient of Subgrade Reaction di Depan Dinding Penahan Tanah ..	62
Tabel 4. 34	Perhitungan Besar Tekanan Tanah di setiap Lapisan Tanah di Belakang Dinding Penahan Tanah	63
Tabel 4. 35	Perhitungan Besar Tekanan Tanah di setiap Lapisan Tanah di Depan Dinding Penahan Tanah.....	64
Tabel 4. 36	Besar Tekanan Air Pori yang Membebani Dinding	64
Tabel 4. 37	Besar Beban Tekanan Tanah di Tiap Meter Kedalamannya di Belakang Dinding	65
Tabel 4. 38	Besar Beban Tekanan Tanah di Tiap Meter Kedalamannya di Depan Dinding	65
Tabel 4. 39	Besar Defleksi Dinding Setelah Iterasi Pertama di Setiap Titik Tangkap Beban.....	66
Tabel 4. 40	Perhitungan Gaya beban di Sisi Belakang Dinding pada Iterasi 2	67
Tabel 4. 41	Perhitungan Beban di Sisi Depan Dinding pada Iterasi 2	68
Tabel 4. 42	Hasil Defleksi Dinding pada Akhir Iterasi 2	68
Tabel 4. 43	Perhitungan Gaya beban di Sisi Tidak Digali pada Akhir Iterasi	69
Tabel 4. 44	Perhitungan Gaya beban di Sisi Tidak Digali pada Akhir Iterasi	70
Tabel 4. 45	Hasil Defleksi di Setiap Titik Tangkap Beban	70
Tabel 4. 46	Data tanah yang digunakan untuk Model 2.....	71
Tabel 4. 47	Perhitungan tekanan lateral tanah di belakang dinding pada kondisi awal Model 2	72
Tabel 4. 48	perhitungan tekanan lateral tanah di depan dinding pada kondisi awal Model 2	72
Tabel 4. 49	Besar Tekanan Air Pori Tanah	73
Tabel 4. 50	Beban Terpusat Tekanan Tanah di Belakang Dinding	74
Tabel 4. 51	Beban Terpusat Tekanan Tanah di depan Dinding	74

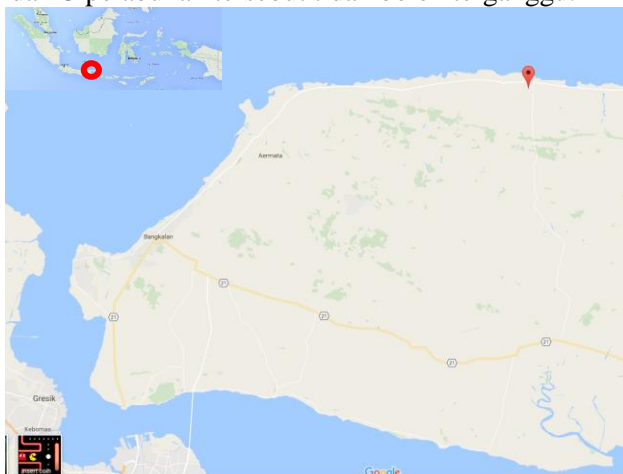
Tabel 4. 52	Pehitungan tekanan lateral tanah di sisi belakang dinding Model 2 setelah kedalaman dinding telah ditentukan.....	75
Tabel 4. 53	Pehitungan tekanan lateral tanah di sisi depan dinding Model 2 setelah kedalaman dinding telah ditentukan.....	75
Tabel 4. 54	Tekanan Air Pori	75
Tabel 4. 55	Perhitungan Beban (P) di Sisi Belakang Dinding.....	77
Tabel 4. 56	Perhitungan Beban (P) di Sisi Depan Dinding	77
Tabel 4. 57	Deformasi Dinding pada Titik Beban Belakang Dinding..	78
Tabel 4. 58	Beban Lateral Tanah di Belakang Dinding pada Iterasi 2.	79
Tabel 4. 59	Beban Lateral Tanah di Depan Dinding pada Iterasi 2.....	79
Tabel 4. 60	Beban Lateral Tanah di Belakang Dinding pada Iterasi 6.	80
Tabel 4. 61	Beban Lateral Tanah di Depan Dinding pada Iterasi 6.....	81
Tabel 4. 62	Besar Defleksi pada Iterasi ke-6 pada Tiap Titik Tangkap Beban.....	82
Tabel 4. 63	Data Tanah untuk Desain Potongan Model 3.	84
Tabel 4. 64	Tekanan lateral tanah at-rest di belakang dinding Model 3 percobaan awal.....	85
Tabel 4. 65	Tekanan lateral tanah at-rest di depan dinding Model 3 percobaan awal.....	85
Tabel 4. 66	Tekanan Air Pori Tanah	85
Tabel 4. 67	Tekanan tanah di belakang dinding pada iterasi Model 3 fase 1	87
Tabel 4. 68	Tekanan tanah di depan dinding pada Iterasi Model 3 fase 1	87
Tabel 4. 69	Tekanan Air Pori	88
Tabel 4. 70	Beban Terpusan Tanah di Belakang Dinding	89
Tabel 4. 71	Beban Terpusan Tanah di Depan Dinding.....	89
Tabel 4. 72	Hasil Defleksi di Titik Tangkap Beban Tanah pada Iterasi 1	90
Tabel 4. 73	Perhitungan tekanan tanah di sisi depan dinding pada iterasi 2.....	91
Tabel 4. 74	Perhitungan tekanan tanah di sisi belakang dinding pada iterasi 2.....	92
Tabel 4. 75	Perhitungan tekanan tanah iterasi terakhir di depan dinding	93
Tabel 4. 76	Perhitungan tekanan tanah iterasi terakhir di belakang dinding.....	94
Tabel 4. 77	Defleksi tiang di iterasi terakhir	95
Tabel 4. 78	Tekanan tanah di depan dinding pada Model 3 fase 2.....	96

Tabel 4. 79	Tekanan air pori pada Model 3 fase 2	96
Tabel 4. 80	Gaya lateral tanah di depan dinding pada Model 3 fase 2..	97
Tabel 4. 81	Beban Terpusat Tanah Lateral di Belakang Dinding pada Iterasi 1	98
Tabel 4. 82	Beban Terpusat Tanah Lateral di Depan Dinding pada Iterasi 1	99
Tabel 4. 83	Defleksi yang Terjadi pada Dinding pada Iterasi 1	100
Tabel 4. 84	Besar Tekanan Tanah di Depan Dinding pada Akhir Iterasi	101
Tabel 4. 85	Besar Tekanan Tanah di Belakang Dinding pada Akhir Iterasi	102
Tabel 4. 86	Defleksi Dinding pada Akhir Penggalian.....	103
Tabel 4. 87	Preliminary Design untuk Model 1	105
Tabel 4. 88	Parameter Material dan Dimensi Pelat	107
Tabel 4. 89	Preliminary Design pada Model 2.....	108
Tabel 4. 90	Desain Penulangan pada Momen Lapangan	110
Tabel 4. 91	Desain Penulangan pada Momen Tumpuan.....	110
Tabel 4. 92	Desain Tulangan Susut pada Pelan Lantai	110
Tabel 4. 93	Desain Penulangan pada Pelat Lantai Bawah Model 2	111
Tabel 4. 94	Desain Tulangan Susut.....	111
Tabel 4. 95	Preliminary Dimensi pada Model 3	113
Tabel 4. 96	Desain Penulangan pada Momen Tumpuan.....	114
Tabel 4. 97	Desain Penulangan pada Momen Tengah Bentang	114
Tabel 4. 98	Desain Tulangan Susut.....	115
Tabel 4. 99	Desain Tulangan pada Tumpuan.....	116
Tabel 4. 100	Desain Tulangan pada Tengah Bentang	116
Tabel 4. 101	Desain Tulangan Susut.....	116
Tabel 4. 102	Desain Tulangan pada pada bagian atas pelat	118
Tabel 4. 103	Desain Tulangan pada bagian bawah pelat	118
Tabel 4. 104	Desain Tulangan Susut pada Pelat	118
Tabel 4. 105	Input Plate Plaxis	129
Tabel 4. 106	Parameter Tanah Input Plaxis	131
Tabel 4. 107	Parameter Struktur untuk Strukut Approach	132

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

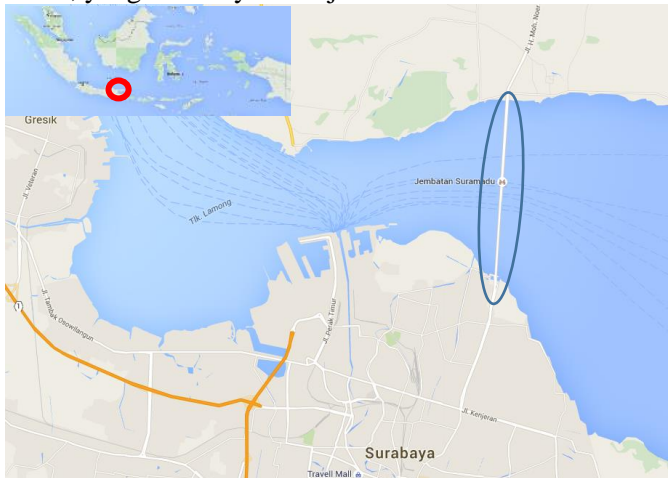
Kegiatan ekspor dan Import adalah salah satu indikator dari pertumbuhan ekonomi suatu negara. Kegiatan ini adalah salah satu kegiatan transportasi barang. Di seluruh dunia transportasi barang ini sering dibantu oleh transportasi di bidang kelautan dan berupa peti kemas/ *container*. Untuk membantu mempercepat peningkatan perekonomian Indonesia, pemerintah sudah berencana untuk membangun pelabuhan peti kemas baru di Pulau Madura, yaitu Pelabuhan Tanjung Bumi. Pelabuhan ini akan dibangun di kabupaten Tanjung Bumi yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.1**. Direncanakan pelabuhan ini akan membantu mengurangi beban peti kemas di Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Teluk Lamong yang telah beroperasi. Oleh karena itu perpindahan peti kemas dari 3 pelabuhan tersebut tidak boleh terganggu.



Gambar 1. 1 Lokasi Kabupaten Tanjung Bumi di Pulau Madura
(sumber: Google Maps)

Seiring dengan pembangunan dan beroperasinya Pelabuhan Tanjung Bumi, pembangunan di Pulau Madura juga akan semakin cepat. Selain itu, Pelabuhan Tanjung Bumi akan digunakan untuk

kegiatan export dan import, sehingga akan lebih banyak transportasi barang yang banyak diperlukan antara pabrik-pabrik dan pusat manufaktur di Pulau Jawa menuju Pelabuhan Tanjung Bumi di pulau Madura. Perpindahan penduduk dari Pulau Jawa ke Pulau Madura juga akan meningkat. pada saat ini, Infrastruktur yang menghubungkan 2 Pulau ini saat ini adalah Jembatan Suramadu, yang lokasinya ditunjukkan oleh **Gambar 1.2**.



Gambar 1. 2 Letak Jembatan Suramadu
(Sumber: Google Maps)

Pada awalnya Jembatan Suramadu dibangun untuk mempercepat pertumbuhan ekonomi di Pulau Madura. Jembatan ini telah dibangun pada tahun 2003 dan dioperasikan pada tahun 2009. Akan tetapi, dalam masa operasinya, jembatan ini pernah ditutup karena pengaruh cuaca yang sangat berbahaya bagi para pengemudi kendaraan bermotor. Permasalahan ini dapat dilihat di salah satu situs berita yaitu maduracorner.com (2015), seperti pada **Gambar 1.3**. Selain itu, Suramadu tidak memiliki ruas untuk penambahan jalur kereta api di jembatan tersebut.

Pemudik Dihimbau Mewaspadai Kecepatan Angin Di Atas Jembatan Suramadu

Editor: 16 Juli 2015 | 11:13

Rambu-Rambu Tentang Kecepatan Angin di Jalur Roda 2 Jembatan Suramadu

image

Bangkalan, maduracorner.com – Kencangnya angin laut bisa menjadi masalah bagi pemudik yang melintasi Jembatan Suramadu. Karena jika tidak berhati-hati tentu akan membahayakan pengendara. Utamanya bagi pemudik yang menggunakan kendaraan roda dua atau sepeda motor.

Kondisi angin kencang tersebut sudah berlangsung beberapa hari terakhir. Diperkirakan, ini akan terus terjadi selama arus mudik hingga arus balik usai seiring terjadinya pergantian musim saat ini.

Bahkan pihak PT Jasa Marga selaku operator pintu tol Suramadu sempat melakukan penutupan sementara selama setengah jam pada jalur roda dua saat H-4 kemarin. Hal ini dilakukan untuk keselamatan para pengendara atau pemudik.

Petugas tol Suramadu mengatakan, mereka akan melakukan penutupan jalur roda dua, jika kecepatan angin berada pada titik 40 km perjam ke atas. "Titik aman kecepatan angin bagi pengendara motor di atas Suramadu, ya dibawah angka 40 km perjam, mas. Jika lebih dari itu, maka jalur roda 2 pasti kami tutup," jelas Kepala Shift Pintu Tol Suramadu sisi Madura, Achmari kepada maduracorner.com saat ditemui di lokasi, kamis (16/7/2015).

"Sementara jika kecepatan angin mencapai 60 km perjam, jalur roda 4 juga akan kami tutup. Alias ditutup total", tambahnya.

Gambar 1. 3 situs berita mengenai penutupan jembatan Suramadu akibat tingginya kecepatan angin. (Sumber: www.maduracorner.com,2015)

Pengembangan jalur kereta api ini diharapkan dapat membantu transportasi dari maupun ke pulau Madura, termasuk ke Pelabuhan Tanjung Bumi. Dengan adanya jalur kereta api, nantinya perpindahan barang di Pelabuhan Tanjung bumi akan menjadi lebih lancar. Kecepatan dan banyaknya *container* yang dapat diangkut oleh kereta api jauh lebih banyak sehingga dirasa lebih efisien daripada transportasi tersebut diangkut oleh truk. Selain itu jalur kereta api yang telah dibangun dapat digunakan pula untuk kereta api massal. sehingga perpindahan manusia dan barang menuju ke pulau Madura tidak terganggu.

Selain untuk mempermudah transportasi barang, tujuan dari kereta api juga diharapkan dapat membantu perpindahan manusia dari pulau Jawa menuju Pulau Madura. Seperti yang diketahui bahwa Surabaya telah padat dengan penduduk dan hampir seluruh jalan perkotaan telah padat. Transportasi yang dapat membantu adalah Subway. Dengan adanya pembangunan PelabuhanTanjung Bumi di pulau Madura, maka pembangunan dengan tujuan industri akan meningkat dengan cepat. Pada akhirnya diharapkan penduduk Surabaya dapat menyebar ke pulau Madura pula.

Sehingga nantinya subway yang beroperasi di Surabaya dapat membantu penyebaran penduduk di Surabaya dan Madura serta kota Gresik. Oleh karena itu, untuk membantu terhubungnya transportasi dari 3 kota ini diharapkan ada infrastruktur baru yang telah membantu menghubungkan jalur kereta api dari stasiun peti kemas tetapi juga menghubungkan dengan jalur Subway dan Komuter.

Ada 2 jenis infrastruktur yang dapat dibangun untuk menghubungkan 2 pulau ini, salah satunya jembatan. Akan tetapi, untuk membangun jembatan yang juga dapat digunakan untuk kereta api dan jalan raya akan menghasilkan perencanaan struktur yang besar dan massif. Selain itu, Selat Madura merupakan tempat lalu lintas pelayaran kapal kapal menuju 2 pelabuhan di daerah kota Surabaya dan Gresik. Sehingga pembangunan jembatan ini haruslah dibangun setidaknya memiliki elevasi setinggi jembatan Suramadu sehingga tidak mengganggu alur pelayaran di daerah tersebut. oleh karena itu, harus dicari alternatif infrastruktur yang lainnya, yaitu terowongan.

Untuk menghubungkan 2 pulau, ada 2 jenis terowongan yang dapat dibangun, yaitu *undersea tunnel* dan *immersed tunnel*. Keduanya dibangun dibawah permukaan laut. Perbedaannya, *undersea tunnel* akan dibangun jauh dibawah dasar laut, sedangkan *immersed tunnel* akan dibangun sedikit dibawah dasar laut yang ada. Pembangunan *immersed tunnel* dirasa lebih mudah dan lebih murah daripada alternatif jembatan atau *Underseera tunnel*.

Oleh karena alasan di atas, pada tugas akhir ini, akan dilakukan studi dan perencanaan untuk membangun terowongan jenis *immersed tunnel*. Terowongan ini akan direncanakan untuk dapat mengakomodasi kendaraan pribadi, seperti sepeda motor dan mobil, truk, dan kereta api. Pada fase studi akan direncanakan menentukan rute alternative yang dapat dibangun di daerah Surabaya dan Gresik. Sedangkan pada perencanaan akan merencanakan *approach*, segmen terowongan dan bentuk dari terowongan. Serta, direncanakan metode pelaksanaan yang akan dilakukan untuk membangun bagian *approach* dan bagian tengah terowongan.

batasan masalah dari Tugas akhir ini data tanah yang digunakan adalah data tanah sekunder.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat dalam tugas akhir ini adalah:

- a. Dimana rute alternative untuk terowongan jenis *immersed tunnel* dapat dibangun?
- b. Bagaimana alimen dari jalan menuju terowongan bawah laut?
- c. Bagaimana bentuk struktur pada bagian utama *immersed tunnel*?
- d. Bagaimana design bagian *approach* di salah satu sisi terowongan?
- e. Bagaimana metode pelaksanaan dari pembangunan terowongan bawah laut ini?

1.3. Tujuan Tugas Akhir

Dari rumusan masalah di atas, dapat dirumuskan tujuan dari tugas akhir ini adalah menghasilkan perencanaan terowongan bawah laut jenis *immersed tunnel* yang menghubungkan Pulau Jawa dan Pulau Madura.

1.4. Batasan Masalah

Batasan dari tugas akhir ini adalah

- a. Tidak merencanakan secara mendetail struktur dari segmen terowongan
- b. Menggunakan data tanah sekunder dalam perencanaan *approach* terowongan pada rute yang di pilih.
- c. Hanya merencanakan 3 potongan *approach* di 1 rute yang dipilih.
- d. Tidak merencanakan sambungan anantara *approach* dan segmen terowongan bawah laut

1.5. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini:

- a. Bagi Peneliti dan perencana: adanya perkembangan teknologi maupun perencanaan terowongan bawah laut di Indonesia
- b. Bagi Masyarakat: menambah alternatif baru untuk masyarakat agar masyarakat yang hendak pergi dari maupun ke pulau Madura dengan menggunakan kereta api maupun kendaraan pribadinya dalam segala jenis kondisi cuaca.
- c. Bagi Pemerintah:
 - i. adanya opsi baru yang lebih baik untuk menghubungkan jaringan rel kereta api kota Surabaya dan Madura.
 - ii. Dapat meningkatkan perekonomian Indonesia dengan lancarnya perhubungan barang di Pelabuhan Tanjung Bumi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Korelasi Data Tanah

Analisis data tanah akan digunakan untuk menentukan data-data apa saja yang dirasa kurang untuk perencanaan dan tidak ada di dalam data tanah tersebut. Sehingga diperlukan korelasi korelasi dari tabel-tabel penelitian yang telah dilakukan. Pada tugas ini beberapa korelasi harus dilakukan, yaitu meliputi konsistensi tanah lunak, konsistensi tanah berpasir, *coefficient of subgrade reaction*, dan modulus Elastisitas tanah. Seluruh tabel yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 2.1** hingga **Tabel 2.4**.

Tabel 2. 1 Tabel Korelasi Konsistensi Tanah dengan Data N-SPT dan Data Sondir. (Mochtar, 2012)

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, C_u		Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, q_c (dari Sondir)	
	kPa	ton/ m ²		kg/cm ²	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12.5	0 – 1.25	0 – 2.5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12.5 – 25	1.25 – 2.5	2.5 – 5	10 – 20	1000–2000
Menengah (medium)	25 – 50	2.5 – 5.	5 – 10	20– 40	2000 –4000
Kaku (stiff)	50 – 100	5.0 – 10.	10 – 20	40 –75	4000 – 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10. – 20.	20 – 40	75– 150	7500 – 15000
Keras (hard)	> 200	> 20.	> 40	> 150	> 15000

Tabel 2. 2 Tabel Korelasi *coefficient of subgrade reaction* (Bowles, 1996)

Soil	k_s , kN/m ³
Loose sand	4800–16 000
Medium dense sand	9600–80 000
Dense sand	64 000–128 000
Clayey medium dense sand	32 000–80 000
Silty medium dense sand	24 000–48 000
Clayey soil:	
$q_a \leq 200$ kPa	12 000–24 000
$200 < q_a \leq 800$ kPa	24 000–48 000
$q_a > 800$ kPa	> 48 000

Tabel 2. 3 Tabel Korelasi Tanah Tak Berkohesi dengan N-SPT (Bowles, 1996)

Empirical values for ϕ , D_r , and unit weight of granular soils based on the SPT at about 6 m depth and normally consolidated [approximately, $\phi = 28^\circ + 15^\circ D_r (\pm 2^\circ)$]

Description	Very loose	Loose	Medium	Dense	Very dense
Relative density D_r	0	0.15	0.35	0.65	0.85
SPT N_{70} : fine	1-2	3-6	7-15	16-30	?
medium	2-3	4-7	8-20	21-40	> 40
coarse	3-6	5-9	10-25	26-45	> 45
ϕ : fine	26-28	28-30	30-34	33-38	
medium	27-28	30-32	32-36	36-42	< 50
coarse	28-30	30-34	33-40	40-50	
γ_{wet} , kN/m ³	11-16*	14-18	17-20	17-22	20-23

* Excavated soil or material dumped from a truck has a unit weight of 11 to 14 kN/m³ and must be quite dense to weigh much over 21 kN/m³. No existing soil has a $D_r = 0.00$ nor a value of 1.00. Common ranges are from 0.3 to 0.7.

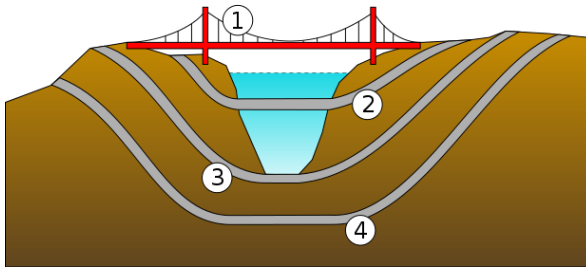
Tabel 2. 4 Tabel Korelasi Modulus Elastisitas Tanah (Braja M Das, 1984)

Type of soil	Modulus of elasticity, E_s		Poisson's ratio, μ_s
	MN/m ²	lb/in ²	
Loose sand	10.5-24.0	1500-3500	0.20-0.40
Medium dense sand	17.25-27.60	2500-4000	0.25-0.40
Dense sand	34.50-55.20	5000-8000	0.30-0.45
Silty sand	10.35-17.25	1500-2500	0.20-0.40
Sand and gravel	69.00-172.50	10,000-25,000	0.15-0.35
Soft clay	4.1-20.7	600-3000	
Medium clay	20.7-41.4	3000-6000	0.20-0.50
Stiff clay	41.4-96.6	6000-14,000	

2.2. Terowongan

Terowongan adalah jalan yang dibangun dibawah tanah dengan cara menggali tanah/ bebatuan disekitarnya. Kebanyakan terowongan digunakan untuk membantu transportasi baik jalan rel maupun jalan raya dan juga untuk *rapid transit*. Salah satu contoh terowongan yang sering dijumpai di Indonesia adalah underpass yang membantu transportasi sehingga tidak terjadi kemacetan di persimpangan.

Sudah ada banyak sekali jenis terowongan yang telah dibangun di dunia. Jenis Terowongan antar pulau berdasarkan dari letak pembangunannya dapat dilihat di **Gambar 2.1**.

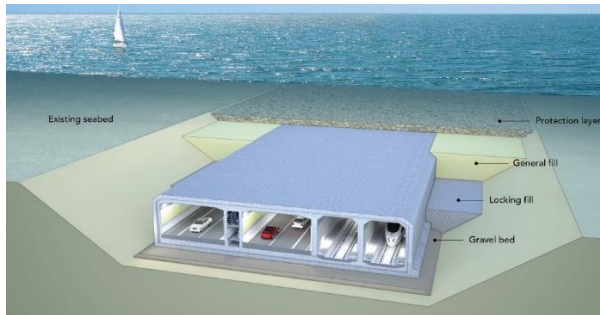


Gambar 2. 1 Jenis-Jenis Terowongan di Bawah air
(sumber: www.wikipedia.org)

1. *Suspension Bridge*.
2. *Archimedes Tunnel / Submerged Floating Tunnel*.
Terowongan ini dibangun melayang di dalam laut atau sungai. Agar dapat melayang, terowongan jenis ini didesain agar berat dari strukturnya hampir sama dengan kemampuan angkat air pada kedalaman tersebut.
3. *Immersed Tunnel*. Terowongan jenis ini dibangun dan diletakkan di dasar laut atau sungai. Struktur terowongan akan dipabrikasi di tempat lain, lalu seluruh bagiannya dibawa ke lokasi dan di tenggelamkan kedalam ke dasar laut. Peletakkannya di dasar laut telah disediakan tempat seperti gorong-gorong sehingga nantinya seluruh / sebagian dari segmen terowongan berada dibawah dasar laut eksisting. Kemudian akan di timbun kembali.
4. *Undersea Tunnel*. Terowongan jenis ini dibangun dengan dibawah dasar laut. Tujuan dari terowongan ini dibangun adalah tingginya tingkat kesulitan dari pembangunan jembatan dan tidak adanya moda lain untuk melewati selat ini.

2.3. Immersed Tunnel

Immersed Tunnel adalah salah satu jenis terowongan yang dibangun dibawah air untuk menghubungkan 2 daratan yang dipisahkan oleh sungai atau selat. **Gambar 2.2** menunjukkan potongan melintang dari terowongan bawah laut.



Gambar 2. 2 Potongan Melintang *Immersed Tunnel*

- a. Kelebihan dan kekurangan dari *Immersed Tunnel*
Kelebihan dan kekurangan dari pembangunan *immersed tunnel* berdasdakan paper dari De Wit, J.C.W.M., dan Van Putten,E. Kelebihan dari Immersed tunnel adalah:

- Bila dibandingkan dengan jenis penghubung yang lainnya *Immersed Tunnel* tidak memerlukan ruangan yang panjang
- Bentuk dari segmen *immersed tunnel* bisa beragam tergantung dari kebutuhan transportasi yang digunakan.
- Dapat dibangun hampir di semua kondisi dasar air.
- Mudah dikerjakan dan waktu pengerjaan yang lebih cepat.

Sedangkan kekurangan dari struktur *Immersed Tunnel* adalah:

- Perlu dilakukan proses *dredging*
- Mengganggu ekosistem laut di daerah pembangunan terowongan bawah laut
- Mengganggu lalu lintas pelayaran pada proses pelaksanaannya. Waktu pembangunannya relative lebih rendah daripada waktu pelaksanaan jembatan sehingga gangguan pada pelayaran lebih minimal.

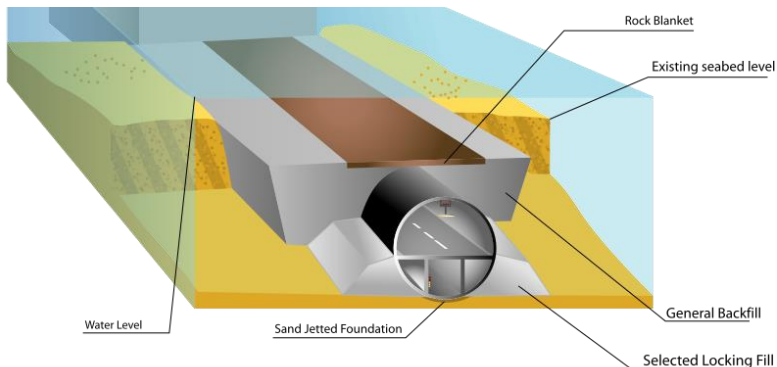
- b. Bagian-Bagian dari Immersed Tunnel

Berdasarkan buku *Tunnel Engineering Hanbook*, *Immersed tunnel* terdiri dari beberapa bagian yang penting yaitu:

- **Segmen.** Segmen dari terowongan jenis ini telah dibentuk dari material beton dan baja. Segmen dari terowongan dibentuk terlebih dahulu pada *dry dock*. Sehingga, diperlukan perencanaan control berat segmen agar segmen ini dapat di pindahkan dari lokasi pembuatan ke lokasi terowongan dengan cara diampungkan di dalam laut ketika segmen dalam kondisi kosong. Pada segmen dari beton perlu di perhatikan mengenai *waterproofing*, karena segmen harus kedap air.
- **Pondasi.** Pondasi di dasar terowongan hanya berupa pondasi lajur yang terdiri dari batu kerikil yang diratakan. Fungsinya untuk memastikan bahwa tanah dibawah terowongan dapat memampat secara bersama-sama. Selain itu ada pondasi tiang, akan tetapi pondasi jenis ini sangat jarang digunakan karena kurang efisien dalam biaya.
- **Backfill.** *Backfill* adalah bagian yang sangat penting untuk menjaga dan melindungi segmen terowongan. Segmen yang dibentuk untuk tidak tenggelam karena pemindahan ke tempat penenggelaman. Untuk meletakkannya secara permanen, *backfill* harus diletakan di atas segmen sehingga beratnya melebihi kemampuan air untuk mengangkat segmen. Selain itu *backfill* juga akan melindungi segmen dari arus laut yang terjadi di daerah tersebut. Lapisan *backfill* dapat dilihat di **Gambar 2.3.** berdasarkan fungsinya, *backfill* dibedakan menjadi yaitu:
 - *Locking backfill* merupakan timbunan yang digunakan untuk mengunci terowongan pada tempatnya. Pasir dapat digunakan sebagai jenis *backfill*, akan tetapi lebih disarankan menggunakan material yang memiliki butiran yang lebih besar.
 - *Ordinary backfill* jenis beackfill yang berada ditengah tengah, untuk memberikan berat pada terowongan. Jenis *backfill* ini harus padat dan materialnya tak

mengandung lempung dan tanah lunak yang melebihi 20% dari berat totalnya.

- *Protective backfill* merupakan lapisan yang digunakan untuk menghindari adanya pengikisan dari segmen terowongan. Material yang digunakan adalah material yang terdiri dari batu yang besar. *Backfill* harus ditimbun 30 meter dari as terowongan.



Gambar 2. 3 Jenis dan Letak *Backfill* pada *Immersed Tunnel*

2.4. Metode Pelaksanaan Terowongan di Dataran

Metode Pelaksanaan Terowongan di daratan pada umumnya meliputi 2 metode, yaitu TBM dan *cut and cover method*.

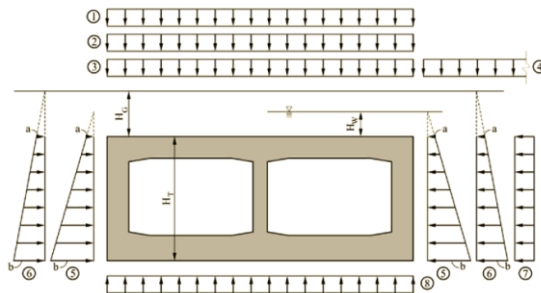
a. TBM

TBM / *tunnel boring machine* adalah seperangkat alat yang digunakan untuk membangun terowongan. Bentuk potongan dari terowongan yang dibuat oleh TBM adalah lingkaran. TBM memiliki bermacam-macam jenis sesuai dengan kemampuannya untuk menggali tanah terowongan. Secara sekilas TBM memiliki 3 bagian penting yaitu *cutter head*, *shield*, dan perangkat *lining* terowongan.

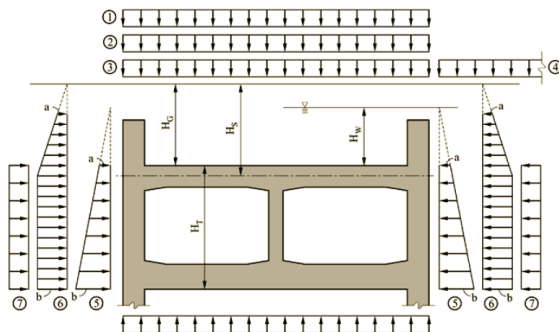
b. Cut and Cover Method

Cut and cover adalah metode pembangunan terowongan yang akan menggali tanah dari permukaan yang kemudian segmen terowongan barulah dipasang kemudian ditutup

kembali. ada 2 jenis metode yang sering dilakukan, yaitu metode *bottom-up* dan metode *top-down*. Kedua metode ini memerlukan struktur penahan tanah yang dapat menguatkan tanah pada proses penggalian. Perbedaan dari 2 metode ini adalah pembangunan segmen terowongannya. Pada *bottom-up* segmen terowongan akan dibuat diluar galian yang kemudian akan diangkat dan diletakan di dalam tanah. Sedangkan *top-down method* segmen terowongan akan dibangun seraya kegiatan penggalian dilakukan. **Gambar 2.4** Dan **Gambar 2.5** menunjukan gaya gaya yang berkerja pada terowongan dari metode *bottom-up* dan metode *top-down*.



Gambar 2. 4 Beban yang Diterima oleh Struktur pada Metode *bottom-up*
(sumber: Technical Manual for Design and Conctruction of Road Tunnels-Civil Element, 2009)



Gambar 2. 5 Beban yang Diterima oleh Struktur pada Metode *Top-Down*
(sumber: Technical Manual for Design and Conctruction of Road Tunnels-Civil Element, 2009)

dimana:

- 1 : Live Load
- 2 : Vertical Earth Load
- 3 : Vertical Hydrostatic Load
- 4 : Vertical Surcharge Load
- 5 : Horizontal Hydrostatic Load
- 6 : Horizontal Earth Load
- 7 : Horizontal Surcharge Load
- 8 : Vertical Hydrostatic Load (Buoyancy)

2.5. Perhitungan Daya Dukung Tanah Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal adalah salah satu jenis pondasi yang dapat membantu seluruh beban struktur dapat tersalurkan ke tanah. Akan tetapi tanah sendiri memiliki batas kemampuan untuk menerima beban besar dari struktur. Sehingga perlu dilakukan perhitungan pendekatan sehingga tanah tidak mengalami kegagalan pada saat menerima beban struktur. Pendekatan besar daya dukung tanah yang akan diterima oleh tanah akan menggunakan persamaan dari Terzaghi. Persamaan ini akan memperhitungkan daya dukung tanah pada tanah lunak. Pada persamaan ini, ada faktor faktor yang dapat digunakan untuk memperhitungkan kan besar daya dukung tanah yang akan ditunjukkan pada **Tabel 2.6**.

$$q_u = c_u N_c + (\gamma D_f) N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

dimana:

- q_u = Kemampuan ultimate daya dukung tanah
- c_u = kohesi tanah
- γ = Berat Volume tanah
- D_f = Kedalaman dasar tanah dari permukaan
- B = Lebar pondasi

Untuk menghindari terjadinya kerusakan pada struktur akibat turunnya tanah, maka besar daya dukung tanah dapat direduksi. Besar yang direduksi akan diambil berdasarkan penelitian dari perilaku tanah pada saat tanah tersebut menerima beban dan juga berdasarkan jenis struktur yang akan dibangun di atasnya.

Umumnya, untuk bangunan akan diambil 3 dan untuk jalan raya akan diambil sebesar 2

ϕ'	N_c	N_q	N_{γ}	ϕ'	N_c	N_q	N_{γ}
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

Gambar 2. 6 Faktor Daya Dukung Tanah menurut Terzaghi

2.6. Perencanaan *Soldier Pile*

Soldier pile sudah sangat sering digunakan sebagai struktur dinidng penahan tanah dalam pekerjaan penggalian. Struktur ini dapat digunakan sebagai struktur yang sementara ataupun permanen. Pada perencanaannya, *soldier pile* dapat direncanakan dengan adanya *lagging* di antara *pile*-nya. Pemasangan *soldier pile* dapat dilakukan dengan memasukan atau dilakukan pengeboran kemudian diisi kembali dengan *backfill* (seperti beton). Metode perencanaan *soldier pile* akan sama seperti perencanaan dari turap, yang menggunakan tekanan tanah lateral untuk menentukan kedalamannya.

a. Tekanan Lateral Tanah

Pada perencanaan dari dinding penahan tanah vertikal, perlu diketahui beban apa saja yang berkerja di struktur tersebut, yaitu, Tekanan lateral tanah. Tekanan lateral tanah terjadi karena terjadi beban luar dan beban vertikal yang terjadi pada titik tersebut. Besar dari gaya ini akan dipengaruhi dari kedalam titik yang ditinjau, fisik tanah, termasuk kohesi dan sudut geser

tanah, friksi tanah dan kemiringan tanah terhadap bentuk struktur penahan tanah. Tekanan tanah lateral memiliki 3 jenis beban jika dilihat dari pergerakan struktur yang menahan tanah tersebut. **Gambar 2.7** menunjukkan grafik tekanan lateral tanah.

Tekanan tanah yang pertama adalah tekanan lateral tanah dalam kondisi diam /*at-rest*. Tekanan tanah lateral ini terjadi bila tidak ada pergerakan di struktur penahan tanah. Penyebab dari pergerakan struktur adalah kegiatan penggalian di salah satu sisi dari struktur. Persamaan dibawah akan menunjukkan menghitung tekanan lateral tanah dalam kondisi diam.

$$k_0 = 1 - \sin(\phi)$$

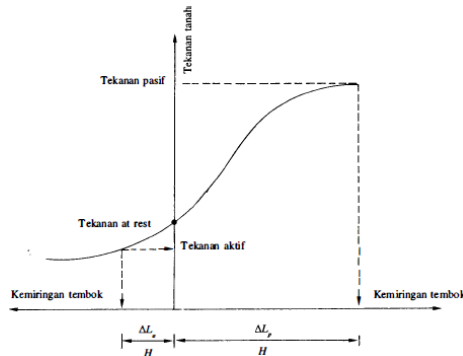
$$\sigma_0 = \sigma_v \times k_0$$

dimana:

σ_0 = tegangan horisontal tanah *at-rest*

k_0 = *coefficient of earth pressure at-rest*

ϕ = sudut geser tanah



Gambar 2. 7 Grafik Tekanan Lateral Tanah (sumber: Bradja M. Das,1993)

2 jenis yang lain adalah tekanan tanah lateral aktif dan pasif. 2 jenis tekanan ini memiliki kesamaan akan terjadi pada saat struktur yang menahan tanah tersebut sudah mengalami pergerakan. Tekanan tanah aktif akan terjadi bila dinding bergerak meninggalkan tanah, sedangkan untuk tekanan lateral tanah pasif dinding bergerak ke arah massa tanah. 2 tekanan tanah lateral ini memiliki kondisi maksimum / kondisi plastis /

tanah dalam kondisi runtuh. Persmaan yang digunakan untuk menentukan besar tekanan runtuh akan digunakan persamaan dari Rankine

$$k_a = \tan^2(45 - \phi)$$

$$\sigma_{hmin} = \sigma_v \times k_a - 2 \times c \times \sqrt{k_a}$$

$$k_p = \tan^2(45 + \phi)$$

$$\sigma_{hmax} = \sigma_v \times k_p + 2 \times c \times \sqrt{k_p}$$

dimana:

σ_{ha} = tegangan horisontal tanah aktif (minimum)

σ_{hp} = tegangan horisontal tanah pasif (maksimum)

σ_h = tegangan horisontal tanah yang timbul

σ_v = tegangan vertikal tanah

k_a = koefisien tekanan tanah tanah aktif

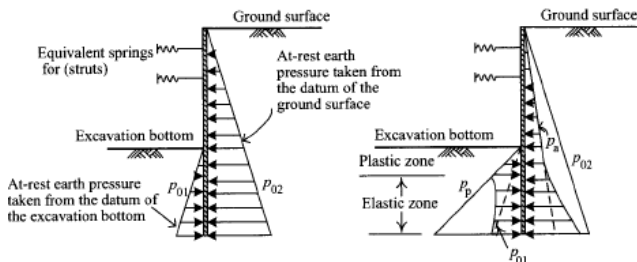
k_p = koefisien tekanan tanah tanah pasif

c = nilai kohesivitas tanah

ϕ = sudut geser tanah

b. *Stress and Deformation: Beam on Elastic Foundation*

Metode analisis ini susunan dari struktur tanah akan diasumsikan sebagai susunan pegas. Besar pegas adalah konstan. Besar kekakuan dari pegas akan diambil dari nilai *coefficient of subgrade reaction*. Proses perhitungan dari metode ini ditunjukkan pada **Gambar 2.5**



Gambar 2. 8 Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Metode *Stress and Deformation* (sumber: Deep Excavation and Practice, 2006)

Pada **Gambar 2.5** Menunjukkan pada awal penggalian perhitungan akan diasumsikan tekanan tanah di kedua sisi dinding sebesar dari beban tekanan tanah dalam kondisi *at-rest*.

Pada kondisi ini terjadi ketidakseimbangan tekanan di kedua sisi dinding. ketidaksetimbangan ini akan menyebabkan dinding penahan tanah akan mengalami deformasi. Sehingga besar tekanan tersebut akan berubah berdasarkan deformasinya menuju ke sisi aktif maupun ke sisi pasif. Deformasi ini akan mengakibatkan tekanan horizontal tanah akan membesar maupun mengecil sesuai dengan deformasi pada dinding yang terjadi. Persamaan yang digunakan adalah

$$P_h = P_0 \pm k_s \times \delta \rightarrow \text{bila } A = 1m^2$$

$$\sigma_h \times A = \sigma_0 \times A + k_s \times \delta \times A \rightarrow \text{bila } A = 1m^2$$

$$\sigma_h = \sigma_0 \pm k_s \times \delta > \sigma_h$$

$$\sigma_{a \min} < \sigma_h < \sigma_{p \max}$$

dimana:

P_h = Gaya Lateral Tanah

σ_a = Tekanan Tanah dinding aktif

σ_p = Tekanan Tanah dinding pasif

k_s = *coefficient of subgrade reaction*

δ = Deformasi dari Dinding

Pada metode ini memungkinkan perhitungan terjadi pada saat tanah berada di kondisi elastis, dimana besar dari beban tanah lateral yang terjadi tidak mencapai kondisi plastis, dimana $\sigma_h > \sigma_a$ maupun $\sigma_h < \sigma_p$. Dalam perhitungannya, bila tekanan tanah dalam kondisi elastis maka akan diberikan pegas tanah yang akan membantu memberikan tanahanan, yang didapatkan dari estimasi dengan bantuan tabel dari bowles pada **Tabel 2.2**. Akan tetapi bila tekanan tanah telah melebihi kondisi plastis maka besar tekanan akan berhenti berkurang / bertambah, dan pegas tanah sudah tidak memberikan perlawanan.

c. Penentuan Dimensi *Soldier Pile*

Penentuan dimesi dari *soldier pile* akan melalui proses *trial and error*. Proses ini perlu dilakukan karena perhitungannya akan mempertimbangkan kekakuan dari penampang dinding yang digunakan. Semakin besar penampang akan menghasilkan deformasi yang kecil yang menimbulkan tekanan tanahnya akan semakin besar untuk dibelakang dinding dan semakin kecil

untuk di depan dinding. Selain itu, ada batasan besar deformasi maksimum yang terjadi, besar deformasi yang terjadi akan dibatasi sebesar 1 inch.

2.7. Tiang Tarik

Tiang tarik dapat terjadi apabila ada suatu gaya angkat keatas akibat adanya *uplift force* pada suatu struktur dan gaya lainnya yang menyebabkan tiang terangkat. Pada perencanaannya, daya dukung tanah melawan gaya tarik ini adalah dari gesekan antara tiang tersebut dengan tanah yang ada. Beberapaa perumusan yang dapat digunakan untuk mengetahui besar dari kekuatan tanah dalam menahan beban tarik.

Pada tanah berkohesi

$$Qu = (2LH + 2BH) \times Cu + W \quad \text{atau}$$

$$Qu = JHP \times H \times O + W$$

Dimana L : panjang group

B : Lebar Group

H : Kedalaman Tiang

Cu : Kohesi Tanah

W : kombinasi berat kelompok Tiang dan struktur lainnya

JHP : Jumlah Hambatan Pelekat (hasil sondir)

O : Keliling Tiang panjang

2.8. Perhitungan Tulangan Struktur

Beton adalah smaterial yang sangat sering digunakan sebagai material utama suatu struktur. Material ini sangat mudah dicari dan memiliki banyak sekali kelebihanannya, mulai dari bahan dasar yang mudah didapatkan dan mudah untuk dibentuk menjadi bentuk sesuai dengan keinginan. Akan tetapi, material beton tidak dapat menahan beban tarik yang terjadi pada suatu struktur tertebntu. Sehingga akan diperlukan tambahan perkuatan dari tulangan sehingga tulangan ini yang akan menerima keseluruhan beban tarik yang terjadi. Perencanaan penmulangan struktur akan direncanakan dengan menggunakan SNI 2847-2013 untuk bangunan beton.

Tulangan yang direncanakan adalah tulangan lentur, sebab lentur sendiri terdiri dari 2 gaya kopel yaitu gaya tekan dan tarik. Dimana gaya tarik akan ditahan oleh tulangan yang akan direncanakan. Persamaan yang digunakan untuk merencanakan tulangan lentur adalah sebagai berikut.

$$Rn = \frac{M}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$\rho = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho_{min} = 1.4 f_y$$

$$\rho_{min} = 0.25 \sqrt{\frac{f'_c}{f_y}}$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_{balance}$$

$$As = \rho \times b \times d$$

Untuk menghindari kerusakan tulangan karena adanya air masuk kedalam tanah, kemampuan penampang beton tersebut untuk menerima beban momen hingga retak terjadi harus dikontrol. Diharapkan besar momen yang terjadi melebihi besar momen retak yang terjadi. Untuk mengetahui besar momen retak yang mampu diterima oleh penampang adalah

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t}$$

$$f_r = 0.62 \lambda \sqrt{f'_c}$$

2.9. Program Bantu

a. Plaxis

Plaxis adalah salah satu program bantu geoteknik yang digunakan untuk menghitung perkuatan galian ataupun perbaikan tanah yang direncanakan. Metode perhitungan yang dilakukan oleh Plaxis adalah metode FEM. Penggunaan dari program bantu ini pada tugas ini adalah untuk membandingkan hasil perhitungan yang dilakukan dengan metode *stress and Deformation: Beam on Elastic Foundation* dan hasil dari *output* Plaxis. Versi program yang digunakan adalah Plaxis v8.2

b. SAP2000

SAP2000 adalah program untuk membantu perhitungan struktur baik secara 2 dimensi ataupun 3 dimensi. Pada tugas akhir ini, program ini akan membantu memperhitungkan besar defleksi dan momen maksimum yang terjadi di struktur *approach*. Program SAP2000 yang digunakan adalah versi 14.2.

c. spColumn

spColumn salah satu program untuk membantu perhitungan tulangan yang akan digunakan untuk kolom. Program ini akan membantu perhitungan desain dari tulangan *bored pile*. Peraturan yang digunakan adalah SNI 2847-2013, perencanaan bangunan beton untuk bangunan. *Input* perhitungan yang diminta dari spColumn ini adalah besar momen dan tekanan aksial yang terjadi, dimensi dari *bored pile*, data mutu beton dan tulangan, dan ukuran serta banyak dari tulangan yang digunakan. Versi program yang digunakan adalah versi 4.81

2.10. Perkiraan Biaya Pelaksanaan *Immersed Tunnel*

Seperti pada latar belakang dari tugas akhir ini, desain Terowongan jenis *Immersed tunnel* akan menghasilkan desain yang lebih murah dari pada jembatan dan *undersea tunnel*. Salah satu perusahaan konsultan merencanakan terowongan jenis *Immersed tunnel* akan telah memperkirakan besar biaya yang dikeluarkan. **Gambar 2.8** akan menunjukkan besar biaya yang digunakan dan panjang terowongan di daerah Surabaya pada Tahun 2014.

Surabaya immersed tunnel				
immersed tunnel (outer width 45 m)	3.860	€ 193.500	€	746.910.000
approaches (cut and cover)	460	€ 216.000	€	99.360.000
approaches (open ramp)	1.015	€ 54.000	€	54.810.000
Total constructions costs **	5.335 m		€	902.000.000
Land plot acquisition				PM

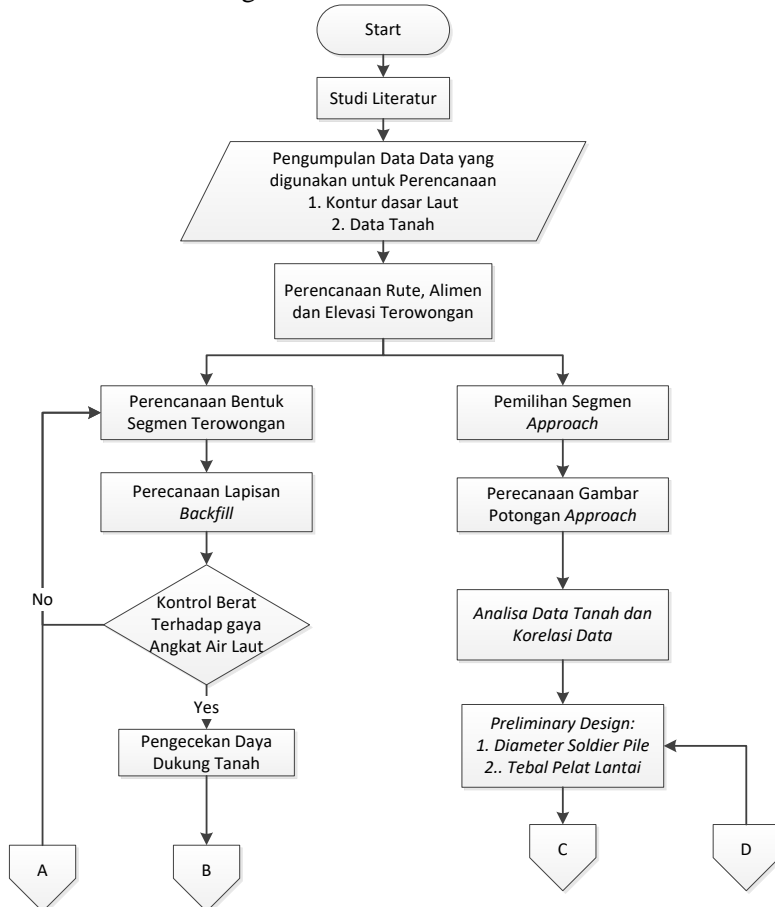
Gambar 2. 9 Perkiraan biaya oleh TEC Tahun 2014

**** (Halaman Sengaja Dikosongkan) ****

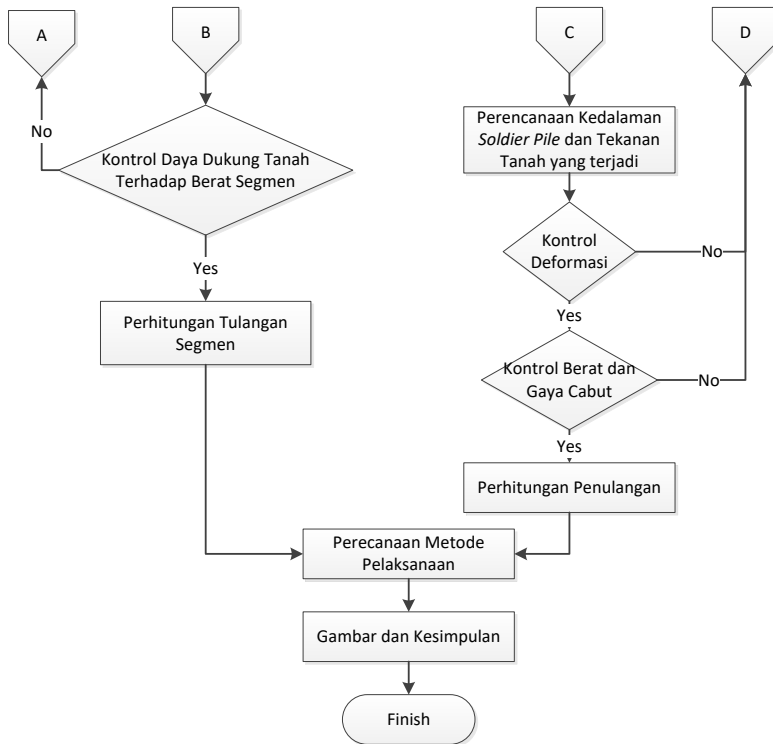
BAB III METODOLOGI DESAIN

Bagan Alir

Gambar 3.1 merupakan bagan alir tahapan perencanaan tugas akhir dalam merencanakan terowongan bawah laut Selat Madura adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Tahapan perencanaan terowongan bawah laut



Gambar 3. 1 Tahapan perencanaan terowongan bawah laut (lanj.)

Studi Literatur

Studi literatur berupa pengumpulan materi-materi yang digunakan sebagai acuan untuk merencanakan terowongan bawah laut. Adapun bahan studi yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

- Referensi mengenai standart dan peraturan untuk perencanaan geometri jalan raya dan jalan rel;
- Referensi mengenai perencanaan terowongan bawah laut.

- c. Referensi mengenai perencanaan *approach* dengan metode *cut and cover*.
- d. Referensi mengenai metode perencanaan *Stress and Deflection: Beam on Elastic Foundation*

Pengumpulan Data yang Digunakan untuk Perencanaan

Mengumpulkan data-data yang digunakan untuk perencanaan seperti:

- a. Data tanah di kedua *approach tunnel* di sisi Pulau Jawa di daerah rute yang dipilih
- b. Gambar kontur dasar laut.

Perencanaan Struktur Terowongan Bagian Laut

Perencanaan struktur terowongan bawah laut di bagian laut adalah sebagai berikut:

- a. Pemilihan bentuk struktur yang akan digunakan untuk mengakomodasi kendaraan yang akan melalui terowongan ini;
- b. Perencanaan elevasi teratas dari segmen terowongan;
- c. Perencanaan perkuatan tanah atau pondasi yang akan digunakan di dalam laut.

Perencanaan Struktur Bagian *Approach Tunnel*

Perencanaan struktur terowongan bawah laut di bagian *approach* terowongan adalah sebagai berikut:

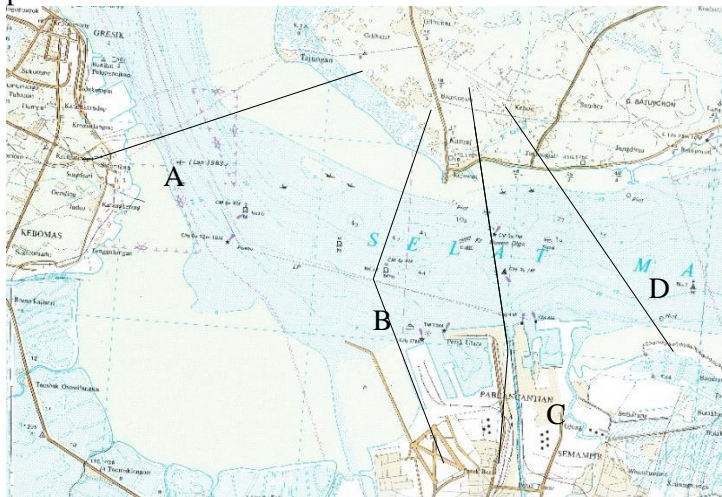
- a. Pemilihan struktur yang akan digunakan untuk mengakomodasi kendaraan yang akan melalui terowongan ini
- b. Perencanaan perkuatan tanah atau pondasi yang akan digunakan pada saat proses penggalian;
- c. Perencanaan penulangan struktur pada setiap potongan *approach* yang direncanakan

**** (Halaman Sengaja Dikosongkan) ****

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS

4.1. Rute Alternatif *Immersed Tunnel*

Tujuan dari pembangunan terowongan bawah laut ini adalah untuk mempermudah pengiriman *container* menuju ke Pelabuhan Tanjung Bumi yang berada di Pulau Madura. Pelabuhan Tanjung bumi ini akan direncanakan sebagai pelabuhan masa depan untuk Jawa Timur dan dapat dirapati dengan kapal-kapal samudera terbesar di dunia. Moda transportasi yang di di rencanakan adalah kereta api, kendaraan pribadi dan truk. Sehingga dipilihlah 4 jalur yang dirasa dapat membantu pengiriman *container* ke Pulau Madura dengan efisien. 4 rute tersebut akan digambarkan melalui **Gambar 4.1**. Diharapkan, ada 2 terowongan diangun untuk keperluan ini.



Gambar 4. 1 Rute Yang Disarankan untuk Pembangunan Terowongan *Immersed Tunnel* (sumber: peta LPI 1908-1 Gresik, 1993)

Dari Gambar di atas, seluruh ujung di pulau Madura berada di daerah Kamal. Daerah ini merupakan lokasi dari Pelabuhan Kalam yang melayani pelayaran Surabaya ke Madura. Selain itu, rute ini juga dibangun untuk mengurangi kepadatan kendaraan ketika

Jembatan Suramadu telah padat. Pemilihan ini 4 rute ini berdasarkan pertimbangan letak jalur kereta api dan jalur jalan yang dapat dibangun dan jalur kendaraan dengan moda jalan raya. Berikut adalah alasan pemilihan dari ke-4 rute di atas:

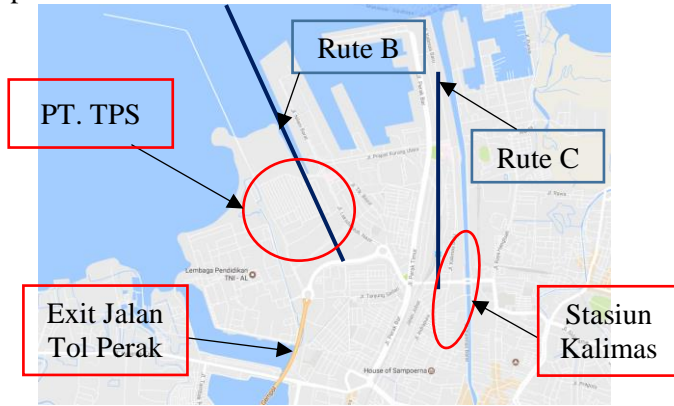
- A. Rute ini dipilih karena terletak di kota Gresik dan sekitarnya merupakan daerah industri di utara kota Surabaya yang selalu perlu untuk ekspor barang ke luar negeri. Selain itu, adanya jalur kereta api yang cukup berdekatan dengan rute ini. Pada **Gambar 4.2** menunjukkan letak dari jalur dan stasiun kereta api terdekat di daerah tersebut. Seangkan untuk kendaraan pribadi, di daerah tersebut sudah terdapat jalan yang telah digunakan untuk pengiriman barang ke jetty-jetty kecil yang telah terbangun di daerah tersebut.



Gambar 4. 2 Peta dari *Approach* dari Rute A (sumber: Google Earth)

- B. Jalur B dipilih karena berada di dekat Terminal Peti Kemas Surabaya. Kendaraan dengan moda jalan raya akan sangat mudah dalam mengakses jalan ini karena sangat dekat dengan jalan tol Perak. Sedangkan untuk moda jalan rel, dapat dilakukan karena sudah adanya jaringan rel kereta api di Terminal Peti Kemas Surabaya. **Gambar 4.3** akan menunjukkan peta lokasi disekitar Rute B
- C. Rute C terletak di daerah Kalimas dan Pelabuhan Tanjung Perak. Pemilihan tempat ini karena adanya stasiun kereta api *container*, yaitu stasiun Kalimas. Selain itu, di daerah kalimas tersebut sudah banyak sekali terdapat depo depo

container di sekeliling stasiun tersebut untuk mengirimkan ke seluruh Pulau Jawa dengan bantuan moda kereta api. Sedangkan untuk kendaraan dengan moda jalan raya, terdapat jalan yang dapat digunakan untuk memasuki bagian utama dari Terowongan ini. **Gambar 4.3** akan menunjukkan peta lokasi disekitar Route C.



Gambar 4. 3 Peta dari *Approach* dari Route B dan C (sumber: Google Maps)

D. Route ini direncanakan di dekat dengan jalan masuk dari jembatan Suramadu. Di daerah ini banyak sekali lahan kosong yang dapat digunakan untuk membangun bagian masuk dan keluar di terowongan sisi pulau jawa. Hanya saja untuk mengakses terowongan ini perlu dibangun jaringan kereta api dan jaringan jalan raya. Lokasi terowongan dilihat dari **Gambar 4.4**.



Gambar 4. 4 Peta dari *Approach* dari Route d (sumber: Google Earth)

Dari 4 rute yang telah dijelaskan di atas, untuk tugas akhir akan direncanakan terowongan pada rute A saja. Perencanaan akan dilakukan dengan asumsi bahwa jaringan kereta api telah dibangun di dalam terowongan.

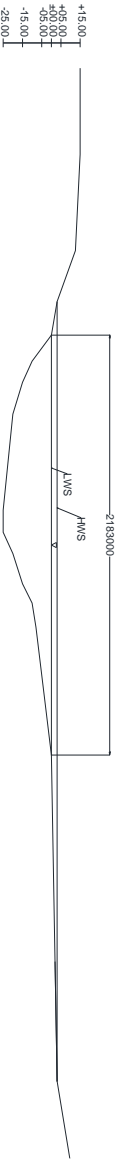
4.2. Perencanaan Rute, Elevasi, Alimen Terowongan

Terowongan yang direncanakan pada tugas akhir ini, akan direncanakan untuk diletakan sedikit dibawah dasar laut sehingga segmen tersebut terlindungi dari seluruh kapal terbesar dan berada di selat Madura. lokasi yang dipilih dalam tugas akhir ini adalah selat Madura yang merupakan alur lalu lintas pelayaran yang sngat ramai digunakan. Sehingga dalam masa operasionlanya terowongan ini tidak boleh mengganggu alur pelayaran dari kapal kapal yang akan berlabuh di Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Teluk Lamong. Oleh karena itu elevasi ini sangat penting dalam studi ini.

a. Kondisi Elevasi Dasar Laut dan Permukaan Eksisting

Kondisi elevasi eksisting yang berada di rute yang telah ditentukan akan dilihat berdasarkan peta Lingkungan Pantai Indonesia dan peta Rupa Bumi Indonesia. 2 Peta ini didapatkan dari pusat Sentra di Jurusan Geomatika - FTSP ITS. peta lingkungan pantai akan menunjukan kedalaman selat Madura sedangkan Peta Rupa Muka Bumi Indonesia akan menunjukan elevasi dataran di sekitar rute A yang telah ditentukan. Peta LPI yang digunakan Berkode 1608-01 Gresik tahun pembuatan 1993 dan untuk peta RBI adalah 1608-432 Surabaya tahun pembuatan 1999. Berdasarkan kontur dan titik ketinggian dari 2 peta ini akan menggambarkan elevasi dasar laut dan daratan di sekitar rute yang ditentukan

Elevasi dasar laut dan elevasi daratan akan didapatkan dengan menggunakan kontur yang telah tertera di peta tersebut. Bentuk dasar laut dan darata yang didapatkan ditunjukkan oleh **Gambar 4. 5**. Berdasarkan **Gambar 4. 5** menunjukan kedalaman laut terdalam adalah sedalam -25 meter dari LWS dan lebar sekitar 2.2 km.



Gambar 4. 5 Elevasi Dasar Laut dan Daratan di Sekitar Rute A

b. Perencanaan Elevasi dan Alimen dari Terowongan

Perencanaan alimen rute terowongan akan direncanakan untuk mendapatkan panjang terowongan terpendek. Oleh karena itu, perencanaan kelandaian jalan raya maupun dari terowongan akan mengambil nilai maksimumnya. Pada perencanaan ini, jalan rel sudah berada di dalam terowongan jauh sebelum memasuki bagian terowongan ini.

Perencanaan kelandaian untuk jalan raya di dalam terowongan akan diambil dari Peraturan Kementerian PU NOMOR: 19/PRT/M/2011. Pada pasal 20 mensyaratkan kelandaian maximum terowongan untuk jalan raya adalah 3%. Sedangkan untuk kereta api, Peraturan yang dirujuk adalah Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia NOMOR: PM. 60 Tahun 2012. Pada pasal 3.1.1.2, kelandaian maksimum dari jalan rel harus dirujuk dari Tabel 3-1 (Ditunjukkan oleh **Tabel 4.1**). Kelandaian dari terowongan akan menggunakan perencanaan kelas jalan rel 3.



Tabel 4. 1 Kelandaian Maksimum Jalan Rel (sumber: Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia NOMOR: PM. 60 Tahun 2012)

Kelas Jalan Rel	Landai Penentu Maksimum
1	10 ‰
2	10 ‰
3	20 ‰
4	25 ‰
5	25 ‰

Sedangkan untuk elevasi yang direncanakan untuk meletakkan segmen terowongan akan mempertimbangkan kedalaman draft maksimum kapal yang menuju Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Teluk Lamong. Hal ini direncanakan untuk menghindari permasalahan draft kapal yang tidak mencukupi untuk lewat di atas terowongan ini. Berdasarkan *website* pelindo, kedalaman terdalam kolam di 2 pelabuhan tersebut adalah sedalam - 10.5 m LWS, Seperti pada **Tabel 4.2**. Sedangkan pada *website* berita

tribunnews.com (2016) Pelabuhan Terminal Petikemas Surabaya akan memperdalam kolam Pelabuhan menjadi -13.30 m LWS. Agar tidak mengganggu proses lalu lintas pelayaran di 2 Pelabuhan maka akan diambil elevasi puncak maksimum adalah -20.00 LWS.

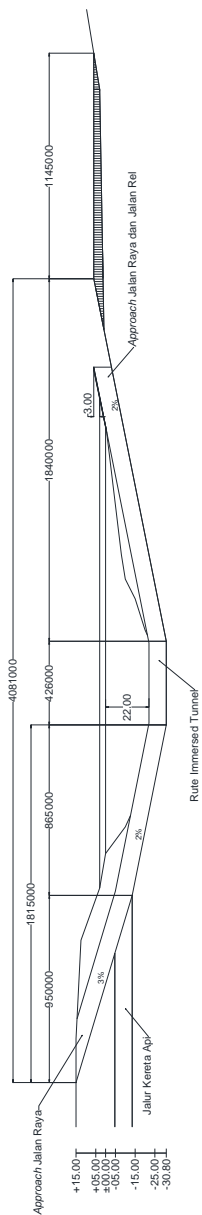
Tabel 4. 2 Kedalaman Kolam di Pelabuhan Tanjung Perak dan Teluk Lamong
(Sumber: www.pelindo.co.id)

	Dermaga	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman Kolam (M LWS)
K 	Dermaga Internasional TPS	1.000	50	10,5
L 	Dermaga Internasional TTL	500	50	10,5

Selain itu, elevasi puncak terowongan tetap diusahakan untuk tidak jauh lebih dalam dari elevasi dasar laut eksisting. Tujuannya untuk mengurangi volume tanah yang harus di-*dredging*. *Dredging* harus dilaksanakan untuk menyipakan tempat untuk meletakkan segmen terowongan, selain itu penggalian ini dimaksudkan untuk memberikan peningkatan besar daya dukung tanah. Semakin dalam dasar segmen diletakan akan semakin besar pula daya dukung tanah yang menahan segmen terowongan.

Berdasarkan pertimbangan ini, elevasi dan kelayakan terowongan akan direncanakan. Bentuk alimen dan elevasi dari system terowongan ini akan ditunjukan oleh **Gambar 4.6**. Segmen terowongan akan diletakan di atas elevasi dasar laut existing, sehingga elevasi puncak segmen akan berada pada elevasi -22 LWS dan ditambah dengan penutup maka akan berada di elevasi -21 LWS.

Di sisi Pulau Madura, jalan keluar dan masuk perlu dilakukan proses reklamasi. Bagian keluar dari terowongan yang berada di sisi Madura berada di bawah HWS (High Water Spring), sehingga pada saat pasang tanah tersebut akan tertutup oleh air laut. Pada **Gambar 4.6** direncanakan dilakukan reklamasi hingga elevasi +6.00 LWS. Sehingga jalan dan terowongan aman dari pasang tinggi air laut.



Gambar 4. 6 Perencanaan Alimen dan Elevasi Terowongan

4.3. Desain *Immersed Tunnel*

Bagian Utama dari terowongan *immersed tunnel* adalah bagian yang berada di dasar laut. Pembentukan ini berada di tempat perbaikan kapal yang letaknya diharapkan cukup dekat dengan rute yang diinginkan. **Gambar 4.7** menunjukkan lokasi dari pembuatan segmen terowongan, pada gambar yang kiri, adalah tempat pembuatan dalam keadaan kering, sedangkan gambar yang kanan menunjukkan bahwa lokasi tersebut telah terisi dengan air laut sehingga terowongan dapat terapung dan ditarik menuju rute yang telah direncanakan. Oleh karena itu, seluruh bagian utama akan dibentuk dalam segmen segmen sehingga mudah untuk dipindahkan.



Gambar 4. 7 Tempat Pembuatan Segmen Terowongan (kiri: lokasi belum terisi air laut; kanan: lokasi telah terisi air laut)

a. Pemilihan Material dan Desain Bentuk

Material yang digunakan untuk membentuk segmen terowongan ini adalah beton bertulang. Struktur beton dipilih karena dapat dibentuk menjadi bentuk seperti apapun sehingga lebih mudah untuk menentukan dimensi dan bentuk segmen sesuai dengan rencana. Terowongan ini akan direncanakan untuk melayani transportasi dengan moda jalan raya dan moda jalan rel. Oleh karena itu, desain segmen terowongan akan mengikuti peraturan yang telah berlaku di Indonesia.

Salah satu moda yang direncanakan untuk melewati terowongan ini adalah kendaraan pribadi dan truk, maka pada perencanaannya perlu direncanakan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Perencanaan jalan di dalam terowongan akan mengikuti peraturan dari Peraturan Kementerian PU NOMOR: 19/PRT/M/2011. Didalam peraturan ini, ada beberapa pasal yang dapat dipertimbangkan dalam merencanakan jalan raya didalam terowongan. Berikut adalah beberapa point dari pasal 15, pasal 20, dan pasal 48:

1. Kelandaian dari jalur lalu lintas di dalam terowongan maksimum 3%;
2. Terowongan dibangun untuk masing-masing arah lalu lintas;
3. Di kedua sisi badan jalan, harus disediakan trotoar untuk pejalan kaki dan akses untuk petugas pemeliharaan dengan lebar minimum sebesar 0.5 meter;
4. Lebar minimum badan jalan di dalam terowongan adalah 8 meter;
5. Tinggi ruang bebas paling rendah adalah setinggi 5,1 meter di atas permukaan perkerasan jalan.

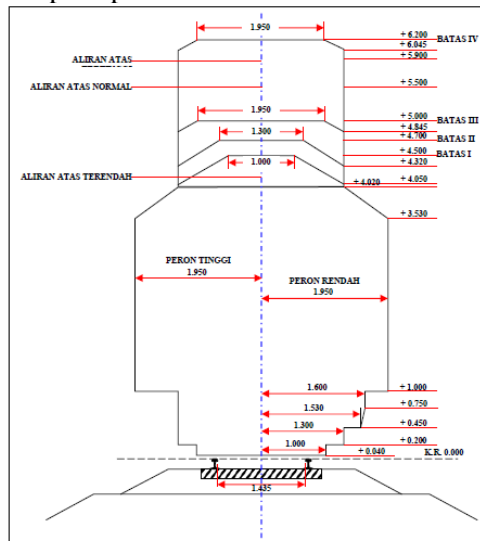
Ada satu moda lagi yang akan diakomodasi oleh terowongan ini, yaitu moda jalan rel. Desain segmen terowongan akan direncanakan berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia NOMOR: PM. 60 Tahun 2012. Pada perencanaan ini, kereta yang diakomodasi adalah kereta api dengan lebar rel 1435 mm. Pada peraturan ini akan dilihat mengenai ruang bebas jalur kereta api. Peraturan ruang bebas tersebut dapat dilihat di **Gambar 4.8**.

Setiap terowongan akan dipersiapkan sebuah ruang yang nantinya akan digunakan dalam kondisi darurat. Ruang ini akan direncanakan sebagai tempat pejalan kaki bagi para pengendara di kondisi darurat. Karena ruangan ini sangat besar ruangan ini dapat pula difungsikan sebagai tempat kabel listrik di bawah pelat pejalan kaki. Pada terowongan ini akan direncanakan 2 ruang darurat, yaitu untuk pengendara truk, dan kendaraan pribadi, dan

penumpang kereta api. Sehingga 2 ruangan ini akan diletakan ditengah tengah jalur kereta api dan jalur jalan raya.

Ruang bebas dari terowongan akan diambil pada batas 4, selain untuk mengakomodasi kereta untuk peti kemas tetapi juga akan direncanakan untuk dapat mengakomodasi komuter dan *subway* juga yang nantinya akan dioperasikan di daerah kawasan Surabaya dan sekitarnya. Jalan rel juga akan dibangun 2 lajur agar tidak saling menunggu pada saat kereta api dari ke 2 sisi akan bersama-sama melewati jalan ini.

Pada terowongan ini akan disiapkan 2 ruang untuk jalan raya. Tujuannya adalah untuk memberikan 2 arus jalan raya di dalam terowongan. Lebar ruang bebas akan dibuat selebar 9.5 meter dengan tinggi 6.4 meter. Tinggi ruang akan memberikan tempat untuk drainase dan langit langit penerangan jalan. Dari pertimbangan di atas, makan bentuk segmen terowongan akan direncanakan seperti pada **Gambar 4.9**.



Keterangan :

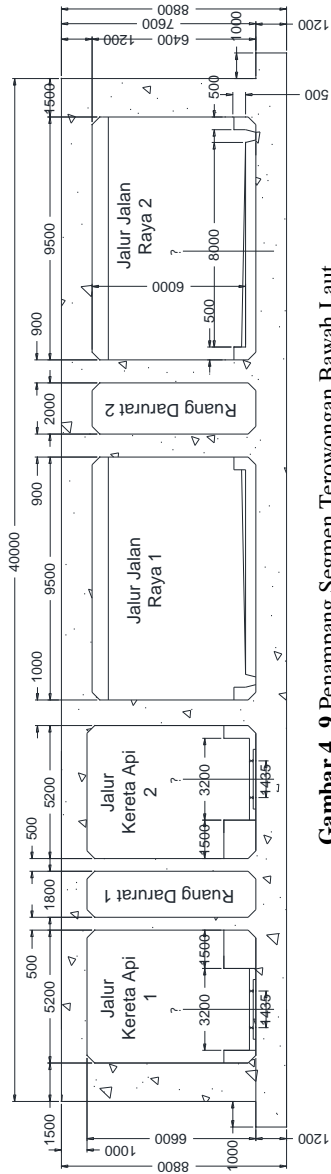
Batas I = Untuk jembatan dengan kecepatan sampai 60 km/jam

Batas II = Untuk 'Viaduk' dan terowongan dengan kecepatan sampai 60km/jam dan untuk jembatan tanpa pembatasan kecepatan.

Batas III = Untuk 'viaduk' baru dan bangunan lama kecuali terowongan dan jembatan

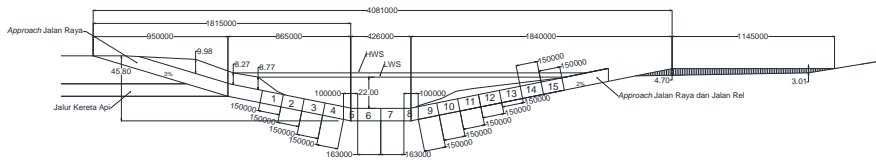
Batas IV = Untuk lintas kereta listrik

Gambar 4. 8 Peraturan Ruang Bebas Kereta Api dengan Jarak Rel 1435mm



Gambar 4. 9 Penampang Segmen Terowongan Bawah Laut.

Seluruh bagian terowongan akan dibagi menjadi 15 segmen sepanjang rute terowongan dibawah laut. Pembagian segmen ini akan membantu proses pabrikasi transportasi segmen. Pembagian segmen akan ditunjukkan pada **Gambar 4.10**. Segmen akan direncanakan menjadi 3 panjang yaitu 100 meter, 150 meter dan 163 meter.



Gambar 4. 10 Pembagian Segmen Terowongan di Bawah Laut

Berdasarkan bentuk segmen terowongan yang direncanakan, akan dicek apakah titik berat dari segmen ini berada di tengah penampang. Pengecekan ini dilakukan untuk menghindari olengnya segmen terowongan pada saat segmen terapung pada proses transportasi. Titik berat akan dihitung pada titik tengah segmen dengan bentuk sesuai pada **Gambar 4.9**. Luas dan titik berat akan dihitung dengan bantuan program Autocad yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3** untuk perhitungan luas beton dan **Tabel 4.4** untuk perhitungan titik beratnya. Perbedaan titik berat diharapkan kurang dari 1 cm.

Tabel 4. 3 Luas penampang terowongan

Luas Total	354380000	mm2	354.38	m2
KA1	34140000	mm2	-34.14	m2
Emergency 1	11700000	mm2	-11.7	m2
KA2	34140000	mm2	-34.14	m2
jalan 1	60620000	mm2	-60.62	m2
Emergency 2	12620000	mm2	-12.62	m2
jalan 2	60620000	mm2	-60.62	m2
Total Luas / 1m			140.54	m2

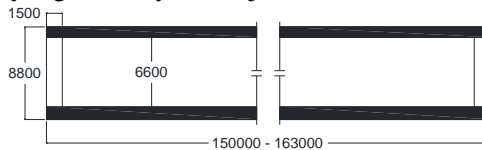
Tabel 4. 4 Perhitungan titik berat dari segmen terowongan

Bagian	A (m ²)	X (m)	AX (m ³)
Luas Total	354.38	21	7441.98
KA1	-34.14	5.1	-174.114
Emergency 1	-11.7	9.1	-106.47
KA2	-34.14	13.1	-447.234
jalan 1	-60.62	21.45	-1300.299
Emergency 2	-12.62	28.1	-354.622
jalan 2	-60.62	34.75	-2106.545
Total	140.54		2952.696
Titik Berat	21.0096485	(ok)	

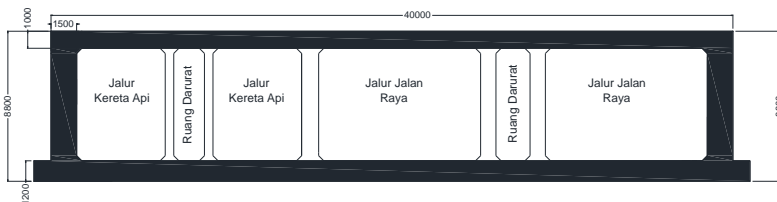
b. Kontrol Berat

Kontrol berat dari segmen dalam pembangunan terowongan jenis ini merupakan hal yang sangat penting. Hal ini disebabkan karena segmen tidak difabrikasi langsung di lokasi dan untuk mengetahui jumlah air yang dapat dimasukkan kedalam segmen sehingga menjadi *Ballast*. Sehingga pada saat mulai pembawaan berat segmen tidak boleh melebihi gaya angkat total dari gaya angkat air keatas. Selain itu perhitungan control berat ini dapat membantu untuk menentukan *backfill* yang dibutuhkan untuk tetap menjaga terowongan ini tetap pada tempatnya selama masa operasionalnya.

Kontrol berat akan menghitung keseluruhan berat total 1 segmen yang akan difabrikasi dan dibawa ke lokasi. Keseluruhan potongan memanjang dari segmen ditunjukkan oleh **Gambar 4.11**. Pada potongan tersebut, dapat dilihat bahwa bagian ujung segmen terowongan terdapat bagian yang tidak memiliki sekat. Ruang ini ditujukan untuk membantu penyambungan antar segmen terowongan yang detailnya ditunjukkan oleh **Gambar 4.12**.



Gambar 4. 11 Potongan Memanjang Segmen Terowongan



Gambar 4. 12 Potongan Terowongan di Ujung Terowongan

Perhitungan kontrol berat akan dibagi menjadi 3 bagian yaitu pada saat memulai pemindahan segmen, pada saat penenggelaman segmen, dan pengoperasian segmen setelah ditimbun *backfill*. 3 kondisi ini merupakan proses yang sangat memperhatikan berat

dari setiap segmen yang telah dibangun. Bagian yang perlu dihitung adalah berat segmen sendiri, berat dari *bulkhead* (penutup segmen terowongan) dan *backfill* yang akan menimbun segmen terowongan. Berat seluruh segmen terowongan akan diperhitungkan pula, yang dihitung dengan menggunakan luas yang telah dihitung pada **Tabel 4.3**. Berat total segmen terowongan pada saat bagian dalam kedap air dan pintu *bulkhead* telah ditutup adalah:

$$\text{Berat tiap meter} = 140.54 \times 2.4 = 337.30 \text{ t/m'}$$

$$\text{Panjang segmen terowongan} = 163 \text{ meter}$$

$$\text{Pengurangan ruang untuk sambungan karet} = 1.5 \text{ meter}$$

$$\text{Luas beton di daerah sambungan karet} = 110.38 \text{ m}^2$$

Luasan ini didapatkan dari bantuan program AutoCad berdasarkan pada arsiran hitam pada **Gambar 4.12**.

Berat total 1 segmen

$$\begin{aligned} &= 337.3 \times 160 \times 2.4 + 110.38 \times 2.4 \times 1.5 \times 2 \\ &= 54762.024 \text{ ton} \end{aligned}$$

Berat dari *bulkhead* adalah

$$\text{Luas terbuka segmen} = 213.84 \text{ m}^2$$

$$\text{Asumsi berat } \textit{bulkhead} = 1.5 \text{ t/m}^2$$

Berat pintu *bulkhead* diasumsikan karena data berat pintu tidak didapatkan.

$$\text{Berat } \textit{bulkhead} = 213.84 \times 1.5 = 320.76 \text{ ton}$$

$$\text{Berat total} = 320.76 + 54762.024 = 55403.55 \text{ ton}$$

Pada proses pemindahan segmen diharapkan berat segmen tidak melebihi gaya angkat air laut yang bekerja. Besar dari gaya angkat air adalah

$$\text{Total volume segmen} = 354.38 \text{ m}^3/\text{m'}$$

$$\text{Total volume ujung segmen} = 110.37 \text{ m}^3/\text{m'}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume segmen} &= 354.38 \times 160 + 110.38 \times 3 \\ &= 57031.94 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Gaya Angkat air} = 56921.54 \times 1.028 = 58628.834 \text{ ton}$$

Pada proses transportasi total berat dari segmen dan *bulkhead* kurang dari besar gaya angkat air yang terjadi. Sehingga segmen

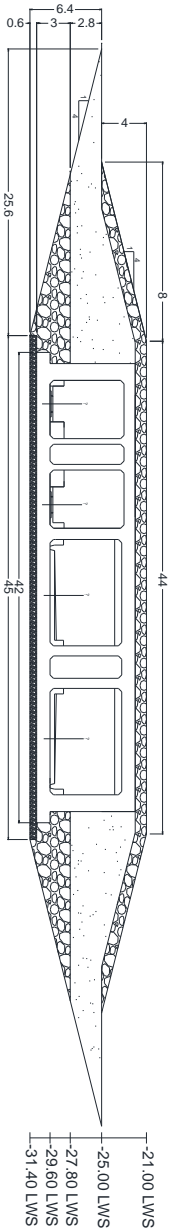
ini masih dapat dipindahkan karena segmen terapung. Pada saat mulai penenggelaman segmen, diharapkan berat segmen adalah sebesar 1.1 kali dari berat gaya angkat air. Dari sebab itu, air laut harus dipompa masuk kedalam terowongan sehingga dapat tenggelam. Banyak air yang perlu pompa adalah sebanyak

$$\text{Berat segmen} = 1.1 \times 58515.34 = 64366.9 \text{ ton}$$

$$\text{Tambahan berat} = 64366.9 - 55082.55 = 9408.86 \text{ ton}$$

$$\text{Volume air laut} = \frac{9408.86}{1.028} = 9152.59 \text{ m}^3$$

Volume air ini akan dipompa masuk kedalam segmen sehingga dapat membantu menenggelamkan segmen sehingga dapat diletakkan pada tempatnya. Setelah segmen diletakan pada tempatnya barulah seluruh air di dalam segmen maupun di sambungan harus dikeluarkan. Agar segmen ini dapat tetap berada ditempatnya perlu ditutup kembali oleh *backfill*. Ada 3 jenis *backfill* yang akan ditimbun di atas segmen terowongan ini yaitu *locking backfill*, *ordinary backfill*, dan *protective backfill*. *Locking* dan *protective backfill* merupakan lapisan batu sedangkan *Ordinary backfill* merupakan timbunan biasa. Bila perencanaan *backfill* seperti pada **Gambar 4.13**. Maka:



Gambar 4. 13 Perencanaan *Backfill* pada Segmen Terowongan

Asumsi : Berat volume lapisan batu = 2 t/m^3

Berat volume lapisan pasir = 1.6 t/m^3

Berat segmen tanpa *bulkhead* = 54762.1 ton

Berat *locking backfill* = $(2 - 1.03) \times 42 \times 163$
= 6640.62 ton

Berat *ordinary backfill* = $(1.6 - 1.03) \times 2 \times 5.8 \times 163$
= 1077.76 ton

Berat *protective backfill* = $(2 - 1.03) \times 2 \times 1.8 \times 163$
= 569.196 ton

Berat *segmen + backfill* = 63049.67 ton

Berat gaya angkat air = $163 \cdot 354.38 \cdot 1.028 = 59381.3 \text{ ton}$

Perbandingan Berat = $\frac{63049.67}{59381.3} = 1.06$

Sehingga perencanaan *backfill* pada **Gambar 4.13**. dapat dilaksanakan. Seluruh perhitungan ini masih belum memperhitungkan berat struktur tambahan yang nantinya akan di pasang setelah seluruh segmen terpasang. Akan tetapi terowongan sudah pada tempatnya meskipun berat struktur tambahan tidak diperhitungkan. Dengan menggunakan rangkaian perhitungan di atas, kontrol berat untuk segmen lain dengan panjang 100 meter dan 150 meter dapat dilihat pada **Tabel 4.5** Dan **Tabel 4.6**.

Tabel 4. 5 Kontrol berat pada segmen panjang 100 meter

Panjang segmen	100 meter	Asumsi	
Komponen	Berat	BV tanah	1.6 t/m ³
Berat Segmen	33512.45 ton	BV batu	2 t/m ³
<i>Bulk Head</i>	-641.52 ton	Perhitungan Total Berat Segmen + <i>Backfill</i>	
Total Berat	34153.97 ton	Berat segment	33512.45 ton
<i>Buoyancy</i>		Berat Batu Protective	4074 ton
Volume Segmen	34706 m ³	Berat Batu Locking	349.2 ton
Berat Volume Air Laut	1.028 t/m ³	Berat Pasir	661.2 ton
<i>Buoyancy</i>	35677.77 ton	Total Berat	38596.85 ton
<i>Buoyancy / Wsegmen</i>	1.04	Gaya Angkat Air	
Volume Ballast (penenggelaman)		Berat Gaya Angkat	36430.26 ton
Berat dibutuhkan	39245.54 ton	Berat / <i>buoyancy</i>	1.06
Tambahan Berat Air	5091.577 ton		
Volume <i>Ballast</i>	4952.896 m ³		

Tabel 4. 6 Kontrol berat pada panjang segmen 150 meter

Panjang segmen	150 meter	Asumsi	
Komponen	Berat	BV tanah	1.6 t/m ³
Berat Segmen	50377.25 ton	BV batu	2 t/m ³
<i>Bulk Head</i>	-641.52 ton	Perhitungan Total Berat Segmen + <i>Backfill</i>	
Total Berat	51018.77 ton	Berat segment	50377.25 ton
<i>Buoyancy</i>		Berat Batu Protective	6111 ton
Volume Segmen	52425 m ³	Berat Batu Locking	523.8 ton
Berat Volume Air Laut	1.028 t/m ³	Berat Pasir	991.8 ton
Buoyancy	53892.9 ton	Total Berat	58003.85 ton
<i>Buoyancy</i> / Wsegmen	1.06	Gaya Angkat Air	
Volume Ballast (penenggelaman)		Berat Gaya Angkat	54645.4 ton
Berat dibutuhkan	59282.19 ton	Berat / <i>buoyancy</i>	1.06
Tambahan Berat Air	8263.422 ton		
Volume <i>Ballast</i>	8038.348 m ³		

c. Kontrol Berat Segmen Terhadap Daya Dukung Tanah

Salah satu kelebihan dari terowongan *immersed tunnel* adalah secara teori dapat diletakan di atas dasar laut seperti apapun. Hal ini disebabkan karena adanya gaya angkat air laut yang dapat membantu tanah untuk menahan segmen tersebut. Selain itu kebanyakan dari terowongan *immersed tunnel* biasanya akan digali dan diletakan dibawah elevasi dasar lautnya. Seperti pada tugas ini terowongan akan diletakan 6.4 meter dibawah dasar laut eksisting.

Pada tugas ini, data tanah akan menggunakan data n-spt dari tabel dan lampiran. Dapat dilihat bahwa pada elevasi -6.4 meter dibawah dasar laut merupakan tanah yg sangat lunak. Nilai nsptnya adalah 1 dan jenis tanahnya merupakan tanah yang berkohesi. Karena tidak ada data penyelidikan tanah yang mendukung, maka berat volume di lapisan tanah tersebut akan di asumsikan sebesar 1,7 t/ m³. Sedangkan untuk data kohesi akan dikorelasikan dengan menggunakan tabel dari Mochtar (2012) Nilai kohesi dari tanah ini adalah sebesar 0,5 t/m², dan diasumsikan bahwa tanah tidak memiliki sudut geser ($\phi=0$)

Perhitungan besar daya dukung tanah pada tanah ini akan menggunakan persamaan dari Terzaghi. Untuk menghindari penurunan yang berlebihan selama masa operasionalnya, angka

keamanan diambil sebesar 3. Besar daya dukung tanah yang di dapatkan adalah

$$q_u = c_u N_c + (\gamma D_f) N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

Tabel 4. 7 Tabel Faktor Faktor Daya Dukung Tanah Terzaghi (sumber: Das,2007)

ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5.70	1.00	0.00
1	6.00	1.10	0.01
2	6.30	1.22	0.04
3	6.62	1.35	0.06
4	6.97	1.49	0.10
5	7.34	1.64	0.14

$$N_c = 5.70; N_q = 1.00; N_\gamma = 0 \text{ (dari Tabel 4.7)}$$

$$q_u = 0.5 \times 5.7 + (1.7 - 1.03) \times 6.4 \times 1 + 0 = 8.14 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Lebar Segmen} = 42 \text{ m}$$

$$q_u = 8.14 \times 42 = 341.796 \text{ t/m/m'}$$

$$SF = 3 \rightarrow q_{all} = \frac{341.796}{3} = 113.932 \text{ t/m/m'}$$

Total beban yang ditahan tanah adalah berat segmen, beban lalu lintas, berat backfill, dan beban tambahan struktur dalam terowongan. Seperti yang diketahui bahwa segmen terowongan bawah laut tidak memiliki berat yang cukup untuk membuat segmen tenggelam dengan sendirinya, maka berat keseluruhan segmen akan diambil sebesar 1,3x besar buoyancy yang terjadi pada segmen terowongan. Pada perhitungan ini yang diperhitungkan adalah segmen dengan panjang 163 meter. Sehingga berat keseluruhan segmen yang di terima oleh tamah dasar laut adalah:

$$\text{Buoyancy} = 59381.3 \text{ ton}/163 = 364.3 \text{ t/m'}$$

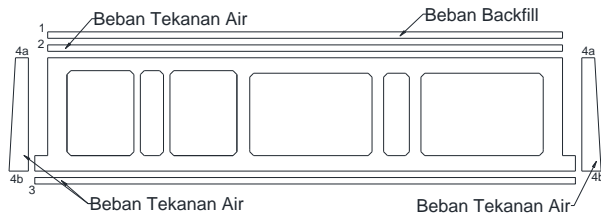
$$\text{Berat Segmen} = 364.3 \times 1.3 = 473.59 \text{ t/m/m'}$$

$$q = 473.59 - 364.3 = 109.29 \text{ t/m/m'} < q_{all} \quad (\text{ok})$$

Berdasarkan perhitungan di atas, kondisi tanah dasar laut dapat menerima seluruh beban segmen terowongan bawah laut. Berarti susunan segmen dan *backfill* yang direncanakan dapat diterima oleh tanah dasar laut.

d. Perencanaan Penulangan Segmen Terowongan

Struktur beton bertulang akan sangat berbahaya sekali dalam menahan beban tarik. Salah satu beban tarik yang terjadi adalah momen. Momen ini akan disebabkan oleh beban beban luar. Beban yang dipoerhitungkan adalah beban pada saat segmen tersebut telah berada didalam laut dan telah ditutup oleh backfill. Pada segmen terowongan ini akan terjadi beban seperti pada **Gambar 4.14** yang besarnya ditunjukkan pada **Tabel 4.8**.

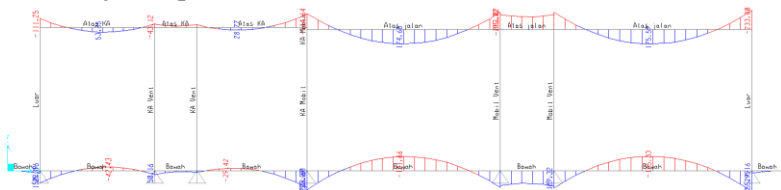


Gambar 4. 14 Beban yang Terjadi pada Struktur Segmen Terowongan

Tabel 4. 8 Besar Beban yang Terjadi pada Segmen Terowongan

No	Jenis Beban	q (t/m ²)
1	Berat <i>Backfill</i>	1.97
2	Tekanan Air Laut	22.66
3	Tekanan Air Laut	32.342
4a	Tekanan Air Laut	22.66
4b	Tekanan Air Laut	32.342

Segmen terowongan akan banyak diasumsikan sebagai struktur pelat. Serta untuk melakukan perhitungan penulangannya akan menggunakan SNI 2847-2013 untuk perencanaan bangunan beton. Untuk membantu perhitungan dari bidang momen dan lainnya akan menggunakan program bantu SAP2000. Sehingga hasil perhitungan tersebut akan ditunjukkan pada **Gambar 4.15**.



Gambar 4. 15 Output Bidang Momen SAP2000

Berdasarkan hasil di atas, akan direncanakan penulangan pada salah satu bentang segmen. Bentang tersebut adalah pelat dibawah ruang untuk jalan raya. Besar momen yang terjadi pada pelat tersebut adalah sebesar 255.98 tm untuk di tumpuan dan - 175.33 tm di tengah bentang. Banyaknya tulangan pelat ini akan ditunjukkan pada **Tabel 4.9** dan **Tabel 4.10**.

Tabel 4. 9 Perhitungan Tulangan pada Tumpuan

f'c	50 Mpa
fy	410 Mpa
Momen	255980 kgm
Bw	1000 mm
h	1200 mm
dimater tulangan	32 mm
As	804.2477 mm ²
cover	100 mm
d	1084 mm
Rn	2.420499
p _{perlu}	0.006082
p _{min}	0.003415
p _{min}	0.004312
p _{max}	0.007402
ppakai	0.006082
As	6592.983 mm ²
n	9 buah /meter
Pakai	D32 - 100

Tabel 4. 10 Perhitungan Tulangan pada Lapangan

f'c	50 Mpa
fy	410 Mpa
Momen	175330 kgm
Bw	1000 mm
h	1200 mm
dimater tulangan	32 mm
As	804.2477 mm ²
cover	100 mm
d	1084 mm
Rn	1.657888
p _{perlu}	0.004126
p _{min}	0.003415
p _{min}	0.004312
p _{max}	0.007402
ppakai	0.004312
As	4673.803 mm ²
n	6 buah /meter
Pakai	D32 - 150

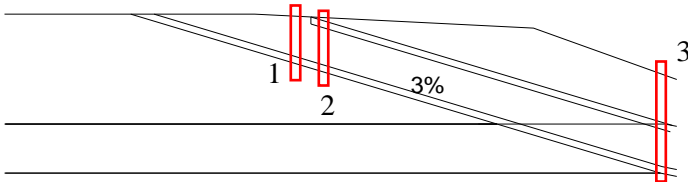
4.4. Perencanaan Tunnel Approach

Approach disini adalah bagian keluar dan masuknya kendaraan kedalam terowongan. Pada tugas akhir ini keluar masuk terowongan akan direncanakan dengan metode *cut and cover*. Metode ini akan melakukan penggalian lalu menutupnya kembali. Pada proses penggalian diperlukan perkuatan tanah sehingga dapat menahan beban tanah dan struktur disekitarnya. Perhitungan struktur penahan tanah sehingga *tunnel approach* dapat dilaksanakan dan bertahan selama masa operasionalnya

a. Pemilihan Segmen Tunnel Approach

Sisi masuk dan keluar terowongan sangatlah panjang, sehingga tidak mungkin semua potongan *approach* akan memiliki struktur penahan tanah yang sama. Selain itu untuk memasuki terowongan yang telah terpasang di dasar laut, memerlukan jalan penghubung dibawah tanah. Pembuatan jalan ini harus dilakukan proses penggalian. Metode dalam pembuatan *tunnel approach* ini adalah metode *cut and cover*, maka proses penggalian diperlukan suatu struktur penahan tanah yang dapat menjaga tanah agar tidak longsor pada saat masa pembuatan dan operasionalnya. Oleh karena itu, pada tugas ini akan memilih 3 potongan dari *approach*

terowongan yang akan didesain struktur penahan tanahnya. Pemilihan 3 segmen ini ditunjukkan oleh **Gambar 4.16**.

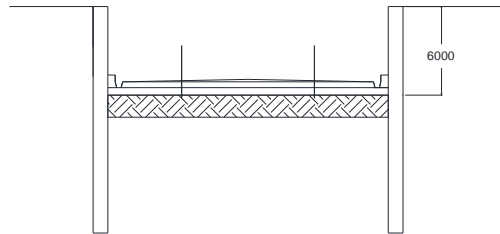


Gambar 4. 16 Perencanaan *Tunnel Approach*

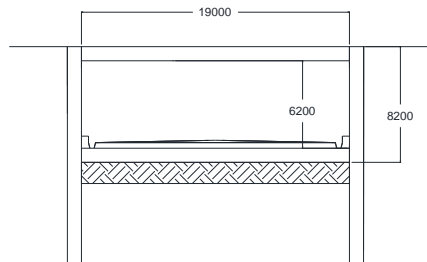
Tiga potongan yang diberi tanda kotak inilah yang akan direncanakan struktur penahan tanahnya. Pemilihan tiga jenis potongan ini adalah karena perbedaan bentuk potongan dari *tunnel approach*. Setiap potongan memiliki bentuk potongan terowongan yang berbeda-beda. **Gambar 4.17**, **Gambar 4.18**, dan **Gambar 4.19** menunjukkan bentuk bentuk Potongan yang dipilih. Perbedaan dari 3 model ini dapat dilihat pada **Tabel 4.11**

Tabel 4. 11 Perbedaan tiap-tiap Model

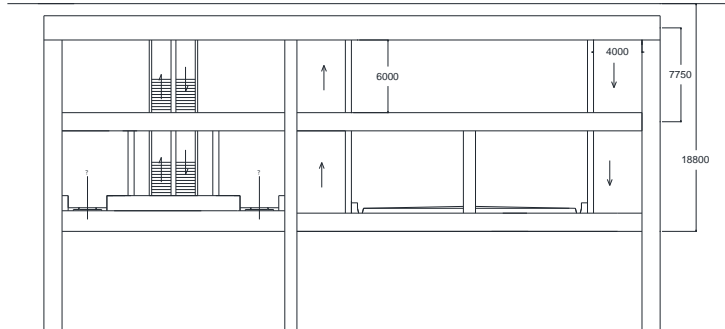
	Model 1	Model 2	Model 3
Jumlah Tingkat	1	1	2
Kedalaman Galian	6 meter	8.2 meter	18.8 meter
Pelat Penutup	Tidak ada	Ada	Ada
Proses Penggalian	1	1	2
Tertutup Tanah	Tidak	Tidak	Iya (2 meter)



Gambar 4. 17 Potongan Model 1



Gambar 4. 18 Potongan Model 2



Gambar 4. 19 Potongan Model 3

b. Analisa Data Tanah

Data Tanah yang digunakan adalah data tanah di kabupaten Gresik yang di dapatkan dari Laboratorium Mekanika Tanah ITS. Ada 3 data tanah yang didapatkan sebagai perhitungan dalam merencanakan struktur penahan tanah. Ketiga data tanah tersebut dapat dilihat pada Lampiran. Konsistensi tanah akan didapatkan

dari perbandingan antara data N-SPT yang ada dengan tabel penelitian dari Mochtar (2012) dan Bowles (1997). Berdasarkan data tanah tersebut didapatkan **Tabel 4.12**, **Tabel 4.13** dan **Tabel 4.14**.

Tabel 4. 12 Hasil penyelidikan tanah di Tanah 1

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	NSPT	Konsistensi	GS	Cu(t/m2)	yt	SR	e	Wc	qu	Cu	Φ
0 - 2.75	Lempung	9	medium	2.599	4.75	1.704	92.71%	1.15	41.02%	0.95	0.475	0
2.75 - 4.75	Lempung	11	stiff	2.771	7.75	1.79	88.75%	1.07	34.27%	1.28	0.64	0
4.75 - 6.75	Lempung	16	stiff	2.679	9	1.688	89.07%	1.22	40.56%	1.45	0.725	0
6.75 - 8.75	Lempung	18	stiff	2.614	9.5	1.747	94.54%	1.08	39.06%	1.55	0.775	0
8.75 - 10.75	Lempung	25	stiff	2.704	16.25	1.822	95.15%	0.8	28.15%	1.48	0.74	0
10.75 - 12.75	Lempung	23	stiff	2.811	15.75	1.775	77.58%	1.02	28.15%	2.48	1.24	0
12.75 - 14.75	Lempung	22	stiff	2.713	15.5	2.002	83.58%	0.67	20.64%	2.38	1.19	0
14.75 - 16	Lempung	31	stiff	2.667	17.75	1.767	76.86%	0.89	25.65%	2.65	1.325	0

Tabel 4. 13 Hasil penyelidikan tanah di Tanah 2

Tabel 4-15 Hasil pengujian tanah di Runtan 2												
Lapisan Tanah	Jenis Tanah	NSPT	Konsistensi	GS	Cu(t/m2)	yt	SR	e	Wc	qu	Cu	Φ
0 - 2.75	Lempung	8	medium	2.643	4.5	1.731	93.27%	1.14	40.23%	0.95	0.475	0
2.75 - 4.75	Lempung	10	Medium	2.682	5	1.742	85.11%	1.05	33.32%	1.25	0.625	0
4.75 - 6.75	Lempung	19	stiff	2.627	9.75	1.637	92.89%	1.39	49.15%	1.84	0.92	0
6.75 - 8.75	Lempung	12	stiff	2.792	8	1.724	90.32%	1.29	41.73%	1.21	0.605	0
8.75 - 10.75	Lempung	23	stiff	2.704	15.75	1.944	85.35%	0.69	21.78%	2.45	1.225	0
10.75 - 12.75	Lempung	22	stiff	2.701	15.5	1.824	89.39%	0.94	31.11%	2.35	1.175	0
12.75 - 14.75	Lempung	23	stiff	2.692	15.75	1.872	97.15%	0.9	32.48%	2.48	1.24	0
14.75 - 16	Lempung	35	stiff	2.749	18.75	1.866	89.42%	0.89	28.95%	2.85	1.425	0

Tabel 4. 14 Hasil penyelidikan tanah di Tanah 3

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	NSPT	Konsistensi	GS	yt	SR	e	ysat	qu	Cu	Φ
0 -	2.75	Lempung	16	Stif	2.51	1.562	94%	1.53	1.954	0.8	0.36
2.75 -	4.75	Lempung	0	Lunak	2.503	1.591	100%	1.542	1.591	0.192	0.07
4.75 -	6.75	Lempung	0	Lunak	2.53	1.646	100%	1.37	1.646	0.26	0.11
6.75 -	8.75	Lempung	1	Lunak	2.529	1.521	100%	1.935	1.521	0.36	0.125
8.75 -	10.75	Lempung	2	Lunak	2.65	1.66	100%	1.5	1.660	0.35	0.17
10.75 -	12.75	Lempung	3	Lunak	2.64	1.745	100%	1.2	1.745	0.7	0.33
12.75 -	14.75	Lempung	9	Medium	2.65	1.717	100%	1.3	1.717	1.1	0.3
14.75 -	16.75	Lempung	8	Medium	2.67	1.642	100%	1.6	1.642	0.55	0.3
16.75 -	18.75	Lempung	5	Medium	2.738	1.718	100%	1.42	1.718	1.1	0.45
18.75 -	20.75	Lempung	12	stiff	2.871	1.725	100%	1.581	1.725	1.22	0.55
20.75 -	22.75	Pasir Berlanau	22	Dense	2.78	1.908	100%	0.96	1.908		34
22.75 -	24.75	Pasir	17	Medium Dense	2.766	1.918	100%	0.924	1.918		32
24.75 -	25.5	Lempung	15	stiff	2.78	1.742	100%	1.4	1.742	2.1	1.3

i. Perhitungan dan Korelasi Data yang Dibutuhkan

Dari data tanah yang ada, ada beberapa data yang tidak diketahui dari data tanah di atas, salah satunya berat volume tanah dalam kondisi *saturated*. Seperti yang diketahui, kondisi muka air tanah di Indonesia sangat tinggi, sehingga pada analisa perkuatan tanah membutuhkan nilai dari berat volume tanah dalam kondisi *saturated* dari setiap lapisan tanah. Untuk mendapatkan berat volume tanah akan menggunakan persamaan berikut ini.

$$Sr = \frac{Wc \times Gs}{e}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_{tanah} \times (1 + e) + 1 \times (1 - Sr)}{1 + e}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas maka dapat didapatkan **Tabel 4.15**, **Tabel 4.16**, dan **Tabel 4.17** yang menunjukkan berat volume jenuh tanah dari setiap hasil penelitian data tanah. Seluruh data yang berada di tabel tersebut diambil dari

Tabel 4. 15 Berat Volume Tanah Jenuh tiap Lapisan Data Tanah 1

Lapisan Tanah	Cu(t/m2)	yt	SR	e	Wc	ysat
0 - 2.75	4.75	1.704	92.71%	1.15	41.02%	1.738
2.75 - 4.75	7.75	1.79	88.75%	1.07	34.27%	1.844
4.75 - 6.75	9	1.688	89.07%	1.22	40.56%	1.737
6.75 - 8.75	9.5	1.747	94.54%	1.08	39.06%	1.773
8.75 - 10.75	16.25	1.822	95.15%	0.8	28.15%	1.849
10.75 - 12.75	15.75	1.775	77.58%	1.02	28.15%	1.886
12.75 - 14.75	15.5	2.002	83.58%	0.67	20.64%	2.100
14.75 - 16	17.75	1.767	76.86%	0.89	25.65%	1.889

Tabel 4. 16 Berat Volume Tanah Jenuh tiap Lapisan Data Tanah 2

Lapisan Tanah	Cu(t/m2)	yt	SR	e	Wc	ysat
0 - 2.75	4.5	1.731	93.27%	1.14	40.23%	1.762
2.75 - 4.75	5	1.742	85.11%	1.05	33.32%	1.815
4.75 - 6.75	9.75	1.637	92.89%	1.39	49.15%	1.667
6.75 - 8.75	8	1.724	90.32%	1.29	41.73%	1.766
8.75 - 10.75	15.75	1.944	85.35%	0.69	21.78%	2.031
10.75 - 12.75	15.5	1.824	89.39%	0.94	31.11%	1.879
12.75 - 14.75	15.75	1.872	97.15%	0.9	32.48%	1.887
14.75 - 16	18.75	1.866	89.42%	0.89	28.95%	1.922

Tabel 4. 17 Berat Volume Tanah Jenuh tiap Lapisan Data Tanah 3

Lapisan Tanah	yt	SR	e	ysat
0 - 2.75	1.562	94%	1.53	1.954
2.75 - 4.75	1.591	100%	1.542	1.591
4.75 - 6.75	1.646	100%	1.37	1.646
6.75 - 8.75	1.521	100%	1.935	1.521
8.75 - 10.75	1.66	100%	1.5	1.660
10.75 - 12.75	1.745	100%	1.2	1.745
12.75 - 14.75	1.717	100%	1.3	1.717
14.75 - 16.75	1.642	100%	1.6	1.642
16.75 - 18.75	1.718	100%	1.42	1.718
18.75 - 20.75	1.725	100%	1.581	1.725
20.75 - 22.75	1.908	100%	0.96	1.908
22.75 - 24.75	1.918	100%	0.924	1.918
24.75 - 25.5	1.742	100%	1.4	1.742

Pada data Tanah 2 dan 3 kohesi tanah tidak dapat digunakan karena dirasa pengetesan tidak dilakukan pada kondisi jenuh air. Oleh karena itu, nilai kohesi yang digunakan untuk analisa akan menggunakan korelasi kohesi dari Mochtar (2012). **Tabel 4.18** dan **Tabel 4.19** akan menunjukkan hasil korelasi kohesi untuk data Tanah 2 dan data Tanah 3.

Tabel 4. 18 Nilai Kohesi Tanah Lunak Data Tanah 1

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	NSPT	Konsistensi	Cu(t/m2)
0 - 2.75	Lempung	9	medium	4.75
2.75 - 4.75	Lempung	11	stiff	7.75
4.75 - 6.75	Lempung	16	stiff	9
6.75 - 8.75	Lempung	18	stiff	9.5
8.75 - 10.75	Lempung	25	stiff	16.25
10.75 - 12.75	Lempung	23	stiff	15.75
12.75 - 14.75	Lempung	22	stiff	15.5
14.75 - 16	Lempung	31	stiff	17.75

Tabel 4. 19 Nilai Kohesi Tanah Lunak Data Tanah 2

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	NSPT	Konsistensi	Cu(t/m2)
0 - 2.75	Lempung	8	medium	4.5
2.75 - 4.75	Lempung	10	Medium	5
4.75 - 6.75	Lempung	19	stiff	9.75
6.75 - 8.75	Lempung	12	stiff	8
8.75 - 10.75	Lempung	23	stiff	15.75
10.75 - 12.75	Lempung	22	stiff	15.5
12.75 - 14.75	Lempung	23	stiff	15.75
14.75 - 16	Lempung	35	stiff	18.75

Pada metode perhitungan *stress and deformation*, ada satu data yang diperlukan dalam proses kalukulasi, yaitu *coefficient of subgrade reaction*. tiap lapisan tanah akan memiliki nilai koefisien masing masing. Untuk mendapatkan nilai koefisien akan dikorelasi dari tabel *coefficient of subgrade reaction* (Bowles,1996). **Tabel 4.20** Akan menunjukkan rentang *coefficient of subgrade reaction*.

Tabel 4. 20 *coefficient of subgrade reaction*.

Soil	k , kN/m ³
Loose sand	4800–16 000
Medium dense sand	9600–80 000
Dense sand	64 000–128 000
Clayey medium dense sand	32 000–80 000
Silty medium dense sand	24 000–48 000
Clayey soil:	
$q_u \leq 200$ kPa	12 000–24 000
$200 < q_u \leq 800$ kPa	24 000–48 000
$q_u > 800$ kPa	> 48 000

Dengan mengkorelasikan data tanah yang ada dengan **Tabel 4.20** nilai *coefficient of subgrade reaction* akan didapatkan. Asumsi yang diambil untuk mencari *coefficient of subgrade reaction* pada tanah lunak adalah $q_a = q_u$. **Tabel 4.21**, **Tabel 4.22**, dan **Tabel 4.23** Menunjukkan *coefficient of subgrade reaction* di setiap lapisan tanah.

Tabel 4. 21 *Coefficient of Subgrade Reaction Data Tanah 1*

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	Konsistensi	NSPT	qu (kpa)	Ks (kN/m3)
0 - 2.75	Lempung	medium	8	90	17400
2.75 - 4.75	Lempung	Medium	10	100	18000
4.75 - 6.75	Lempung	stiff	19	195	23700
6.75 - 8.75	Lempung	stiff	12	160	21600
8.75 - 10.75	Lempung	stiff	23	315	36600
10.75 - 12.75	Lempung	stiff	22	310	36400
12.75 - 14.75	Lempung	stiff	23	315	36600
14.75 - 16	Lempung	stiff	35	375	39000

Tabel 4. 22 *Coefficient of Subgrade Reaction Data Tanah 2*

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	Konsistensi	NSPT	qu (kpa)	Ks (kN/m3)	
0 -	2.75	Lempung	medium	9	95	17700
2.75 -	4.75	Lempung	stiff	11	155	21300
4.75 -	6.75	Lempung	stiff	16	180	22800
6.75 -	8.75	Lempung	stiff	18	190	23400
8.75 -	10.75	Lempung	stiff	25	325	37000
10.75 -	12.75	Lempung	stiff	23	315	36600
12.75 -	14.75	Lempung	stiff	22	310	36400
14.75 -	16	Lempung	stiff	31	355	38200

Tabel 4. 23 *Coefficient of Subgrade Reaction Data Tanah 3*

Hatas	-	Hbawah	Jenis Tanah	Konsistensi	NSPT	q_u (kpa)	K_s (kN/m ³)
0 -	2.75	Lempung	Stif	16	72	16320	
2.75 -	4.75	Lempung	Lunak	0	14	12840	
4.75 -	6.75	Lempung	Lunak	0	22	13320	
6.75 -	8.75	Lempung	Lunak	1	25	13500	
8.75 -	10.75	Lempung	Lunak	2	34	14040	
10.75 -	12.75	Lempung	Lunak	3	66	15960	
12.75 -	14.75	Lempung	Medium	9	60	15600	
14.75 -	16.75	Lempung	Medium	8	60	15600	
16.75 -	18.75	Lempung	Medium	5	90	17400	
18.75 -	20.75	Lempung	stiff	12	110	18600	
20.75 -	22.75	Pasir Berlanau	Medium	22	0	52000	
22.75 -	24.75	Pasir	Medium	17	0	62400	
24.75 -	25.5	Lempung	stiff	15	260	26400	

Pada Program bantu Plaxis, salah satu input yang diminta adalah input Modulus Elastisitas tanah, Sedangkan nilai modulus elastisitas tanah tidak ada di data tanah yang ada. Oleh

kerena itu untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas perlu dilakukan korelasi dengan hasil percobaan yang telah ada. Pada tugas ini, nilai dari modulus elastisitas akan di korelasikan dengan tabel nilai berdasarkan Braja Das. Seluruh nilai korelasi tersebut akan ditunjukkan oleh **Tabel 4.24**.

Tabel 4. 24 Tabel Nilai Modulus Elastisitas Tanah (B.Das, 2007)

Type of soil	Modulus of elasticity, E_s		Poisson's ratio, μ_s
	MN/m ²	lb/in ²	
Loose sand	10.5–24.0	1500–3500	0.20–0.40
Medium dense sand	17.25–27.60	2500–4000	0.25–0.40
Dense sand	34.50–55.20	5000–8000	0.30–0.45
Silty sand	10.35–17.25	1500–2500	0.20–0.40
Sand and gravel	69.00–172.50	10,000–25,000	0.15–0.35
Soft clay	4.1–20.7	600–3000	
Medium clay	20.7–41.4	3000–6000	0.20–0.50
Stiff clay	41.4–96.6	6000–14,000	

Berdasarkan **Tabel 4.24** nilai modulus elastisitas akan dikorelasikan pada tiap lapisan tanah. Nilai tersebut nantinya akan diinterpolasi berdasarkan nilai NSPT, konsistensi dan jenis tanah dari data tanah yang ada. Nilai nilai modulus elastisitas tanah akan ditunjukkan oleh **Tabel 4.25**, **Table 4.26**, **Tabel 4.27**.

Tabel 4. 25 Modulus Elastisitas Tanah 1

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	Konsistensi	NSPT	Es (Mn/m2)	Es (Kpa)
0 - 2.75	Lempung	medium	8	33.12	33120
2.75 - 4.75	Lempung	Medium	10	41.4	41400
4.75 - 6.75	Lempung	stiff	19	57.96	57960
6.75 - 8.75	Lempung	stiff	12	45.08	45080
8.75 - 10.75	Lempung	stiff	23	65.32	65320
10.75 - 12.75	Lempung	stiff	22	63.48	63480
12.75 - 14.75	Lempung	stiff	23	65.32	65320
14.75 - 16	Lempung	stiff	35	87.4	87400

Tabel 4. 26 Modulus Elastisitas Tanah 2

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	Konsistensi	NSPT	Es (Mn/m ²)	Es (Kpa)
0 - 2.75	Lempung	medium	9	37.26	37260
2.75 - 4.75	Lempung	stiff	11	43.24	43240
4.75 - 6.75	Lempung	stiff	16	52.44	52440
6.75 - 8.75	Lempung	stiff	18	56.12	56120
8.75 - 10.75	Lempung	stiff	25	69	69000
10.75 - 12.75	Lempung	stiff	23	65.32	65320
12.75 - 14.75	Lempung	stiff	22	63.48	63480
14.75 - 16	Lempung	stiff	31	80.04	80040

Tabel 4. 27 Modulus Elastisitas Tanah 3

Lapisan Tanah	Jenis Tanah	Konsistensi	NSPT	Es (Mn/m ²)	Es (Kpa)
0 - 2.75	Lempung	Stif	16	52.44	52440
2.75 - 4.75	Lempung	Lunak	0	4.1	4100
4.75 - 6.75	Lempung	Lunak	0	4.1	4100
6.75 - 8.75	Lempung	Lunak	1	7.42	7420
8.75 - 10.75	Lempung	Lunak	2	10.74	10740
10.75 - 12.75	Lempung	Lunak	3	14.06	14060
12.75 - 14.75	Lempung	Medium	9	37.26	37260
14.75 - 16.75	Lempung	Medium	8	33.12	33120
16.75 - 18.75	Lempung	Medium	5	20.7	20700
18.75 - 20.75	Lempung	stiff	12	45.08	45080
20.75 - 22.75	Pasir Berlanau	Medium	22	35.88	35880
22.75 - 24.75	Pasir	Medium	17	22.425	22425
24.75 - 25.5	Lempung	stiff	15	50.6	50600

c. Perhitungan Desain Struktur Penahan tanah

Berdasar 3 potongan di atas, maka dapat dilihat 3 potongan tersebut menggunakan struktur penahan tanah yang sama. Struktur yang dipilih adalah struktur *soldier pile*. Karena *soldier pile* ini dirasa lebih ekonomis akan tetapi pada proses pembuatannya tidak mengganggu tanah disekitarnya.

Proses perencanaannya akan menggunakan metode *Stress and Deflection*. Besar dari gaya lateral tanah yang berkerja akan dipengaruhi oleh defleksi dari tiang yang telah terpasang. Sehingga diperlukan melakukan iterasi untuk mendapatkan besar dari gaya gaya yang akan bekeja di *soldier pile*. Karena gaya akan mempengaruhi defleksi dan sebaliknya maka perhitungan metode merupakan metode iterasi hingga perbedaan dari defleksi

mendekati 0. Untuk membantu perhitungan defleksi akan dibantu dengan program bantu SAP 2000.

Langkah langkah yang digunakan untuk mengkalkulasikan struktur penahan tanah pada tugas ini adalah sebagai berikut:

- 1) Meleakukan *preliminary design* dimensi dinding, termasuk panjang, ukuran penampang.
- 2) Mencari seluruh tekanan lateral tanah dalam kondisi at-rest, active dan passive Dengan persamaan dibawah. Kemudian dari tekanan tersebut dijadikan menjadi beban terpusat yang berkerja terhadap *bored-pile* di setiap meter serta koefisien pegas tanah yang dapat di ambil dari *coefficient of subgrade reaction* yang telah di korelasikan sebelumnya;

$$\sigma_{at-rest} = \sigma_v \times k_0$$

$$k_0 = 1 - \sin(\phi)$$

$$\sigma_{a-min} = \sigma_v \times k_a - 2c\sqrt{k_a}$$

$$\sigma_{p-max} = \sigma_v \times k_p + 2c\sqrt{k_p}$$

$$P(t) = \sigma_h \times A \rightarrow A = 1m^2$$

- 3) Untuk memperkirakan kedalaman pada *Bored Pile*, mula-mula kedalaman bored pile dapat diasumsikan memiliki kedalaman yang sangat dalam. Kemudian gaya-gaya lateral tanah dalam kondisi at-rest (p_0) dikerjakan dan pegas tanah (k_s) juga di inputkan kedalam program SAP2000 pada batang tersebut. Kemudian dilihat bentuk bidang momennya. Panjang dinding dapat ditentukan pada saat bidang momen *bored-pile* sudah mendekati 0 di titik tertentu;
- 4) Mengulang langkah ke-2 dengan panjang bored pile yang telah ditentukan pada langkah ke-2, dimana dinding akan dikenai beban sebesar gaya lateral tanah pada kondisi *at-rest* (p_0) sesuai dengan perhitungan besar tekanan tanah pada panjang tersebut. Hasil dari SAP2000 yang diambil adalah defleksi di setiap titik titik beban;
- 5) Dengan hasil defleksi dari langkah ke 3, beban at-rest yang ada di kalkulasikan kembali dengan persamaan

dibawah (P_a dan P_p dalam ton; A adalah luas bidang kontak tekanan dan dinding)

$$P_a = P_{at-rest} - \delta \times ks < P_{a-min}; A \approx 1m^2$$

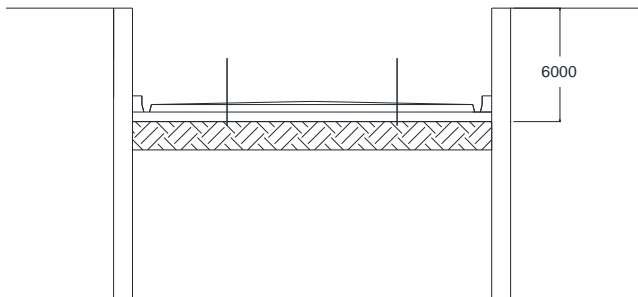
$$P_p = P_{at-rest} + \delta \times ks > P_{p-max}; A \approx 1m^2$$

Bila telah melebihi batas maka besar P_a min dan P_p max akan digunakan dengan menghilangkan pegas tanah di titik tersebut. Lalu di-*input* kembali ke program SAP2000 dan dicari nilai defleksinya pada kondisi tersebut. Bila $P_a < 0$ maka nilai $p_a = 0$ dan pegas tanah juga dihilangkan;

- 6) Mengulang langkah nomor 4 hingga perbedaan defleksi mendekati 0.

Perhitungan semua model potongan akan menggunakan langkah langkah seperti di atas.

i. Model 1



Gambar 4. 20 Potongan pada Model 1

Bentuk dari potongan 1 adalah seperti pada **Gambar 4.20**. Potongan terowongan ini memiliki tinggi galian sedalam 6 meter dengan menggunakan perkuatan *soldier pile* sebagai struktur perkuatan galian. Sistem *soldier pile* yang digunakan adalah sistem *free-standing* yang tidak menggunakan perkuatan lain seperti stud ataupun *ground Anchor*. Data Tanah yang digunakan adalah data tanah 1 seperti **Tabel 4.28**.

Tabel 4. 28 Data Tanah yang digunakan untuk Iterasi Perhitungan

Hatas	-	Hbawah	Cu(t/m2)	γ_{sat} (t/m3)	Φ (deg)	Ks (t/m3)	Es (Kpa)
0	-	2.75	4.75	1.738	0	1740	37260
2.75	-	4.75	7.75	1.844	0	1800	43240
4.75	-	6.75	9	1.737	0	2370	52440
6.75	-	8.75	9.5	1.773	0	2160	56120
8.75	-	10.75	16.25	1.849	0	3660	69000
10.75	-	12.75	15.75	1.886	0	3640	65320
12.75	-	14.75	15.5	2.100	0	3660	63480
14.75	-	16	17.75	1.889	0	3900	80040

- Asumsi awal:
- Diameter *bored pile* adalah: 1.5 meter
 - Kerusakan tanah akibat penggalian sedalam 1.5D
 - Kedalaman *pile* awal 30 meter
 - Bagian terdalam *bored pile* setelah pencarian kedalam sudah terjepit
 - Beban surcharge tambahan sebesar $1.5t/m^2$

Sehingga dengan menggunakan asumsi-asumsi di atas perhitungan untuk mencari kedalaman dapat dilakukan. analisis yang dilakukan pertama adalah mencari tekanan lateral tanah yang terjadi pada dinding penahan tanah, seperti pada **Tabel 4.29** untuk tekanan tanah di belakang dinding dan **Tabel 4.30** untuk tekanan lateral tanah di depan dinding. sisi depan dan sisi belakang dinding dapat dilihat pada **Gambar 4.21**. Sedangkan untuk besar tekanan air pori akan dianalisis seperti pada **Tabel 4.31**.



Gambar 4. 21 Penjelasan sisi tekanan lateral tanah.

Tabel 4. 29 Tekanan Lateral Tanah di Sisi Bekalang Dinding

Point	H (m)	γ_{sat} (t/m ³)	σ'_z (t/m ²)	C_u (t/m ²)	Φ	K ₀	σ_h (t/m ²)
1	0	1.738	1.50	4.75	0	1	1.50
2a	2.75	1.738	3.53	4.75	0	1	3.53
2b	2.75	1.844	3.53	7.75	0	1	3.53
3a	4.75	1.844	5.22	7.75	0	1	5.22
3b	4.75	1.737	5.22	9.00	0	1	5.22
4a	6.75	1.737	6.69	9.00	0	1	6.69
4b	6.75	1.773	6.69	9.50	0	1	6.69
5a	8.75	1.773	8.24	9.50	0	1	8.24
5b	8.75	1.849	8.24	16.25	0	1	8.24
6a	10.75	1.849	9.94	16.25	0	1	9.94
6b	10.75	1.886	9.94	15.75	0	1	9.94
7a	12.75	1.886	11.71	15.75	0	1	11.71
7b	12.75	2.100	11.71	15.50	0	1	11.71
8a	14.75	2.100	13.91	15.50	0	1	13.91
8b	14.75	1.889	13.91	17.75	0	1	13.91
9a	30	1.889	27.47	17.75	0	1	27.47

Tabel 4. 30 Tekanan Lateral Tanah di Sisi Depan Dinding

Point	H (m)	γ_{sat} (t/m ³)	σ'_z (t/m ²)	C_u (t/m ²)	Φ	K ₀	σ_h (t/m ²)
10	0	1.773	0.00	9.50	0	1	0.00
11a	0.75	1.773	0.58	9.50	0	1	0.58
11b	0.75	1.849	0.58	16.25	0	1	0.58
12a	2.75	1.849	2.28	16.25	0	1	2.28
12b	2.75	1.886	2.28	15.75	0	1	2.28
13a	4.75	1.886	4.05	15.75	0	1	4.05
13b	4.75	2.100	4.05	15.50	0	1	4.05
14a	6.75	2.100	6.25	15.50	0	1	6.25
14b	6.75	1.889	6.25	17.75	0	1	6.25
15	22.00	1.889	19.81	17.75	0	1	19.81

Tabel 4. 31 Tekanan Air pori

Point	H	σ_w (t/m ²)
1	0	0
2	6	6
3	30	0

Setelah tekanan lateral tanah telah dianalisis, seluruh tekanan tanah ini akan dikalkulasikan menjadi beban terpusat di

setiap meternya. Pada **Tabel 4.32** dan **Tabel 4.33**, menunjukan bahwa besar gaya lateral tanah yang terjadi pada dinding. Besar gaya yang didapatkan disini akan menjadi input pada program SAP2000. Besar *Coefficient of Subgrade Reaction* juga dapat dilihat pada tabel tersebut. Nilai ini didapatkan dari data tanah pada **Tabel 4.28**.

Tabel 4. 32 Besar Beban Tekanan Tanah Lateral Tanah dan *Coefficient of Subgrade Reaction* di Belakang Dinding Penahan Tanah

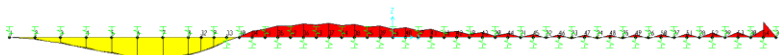
H	P0	ks
0	0.84	885.0
1	2.24	1770.0
2	2.98	1770.0
3	3.74	2040
4	4.58	2130.0
5	5.40	2242.5
6	6.14	2280.0
7	6.89	2325
8	7.66	2340.0
9	8.45	3360
10	9.30	3700.0
11	10.16	3670
12	11.04	3660.0
13	11.99	3645.0
14	13.08	3640.0
15	14.13	3775.0
16	15.02	3820.0
17	15.91	3820.0
18	16.80	3820.0
19	17.69	3820.0
20	18.58	3820.0
21	19.47	3820.0
22	20.36	3820.0
23	21.25	3820.0
24	22.14	3820.0
25	23.03	3820.0
26	23.92	3820.0
27	24.80	3820.0
28	25.69	3820.0
30	12.07	1910.0

Tabel 4. 33 Besar Beban Tekanan Tanah Lateral Tanah dan *Coefficient of Subgrade Reaction* di Depan Dinding Penahan Tanah

H	P0	ks
8.5	0.39	2680.0
9.5	1.22	3700.0
10.5	2.07	3690.0
11.5	2.94	3660.0
12.5	3.84	3655.0
13.5	4.88	3640.0
14.5	5.97	3685.0
15.5	6.92	3820.0
16.5	7.81	3820.0
17.5	8.70	3820.0
18.5	9.59	3820.0
19.5	10.48	3820.0
20.5	11.36	3820.0
21.5	12.25	3820.0
22.5	13.14	3820.0
23.5	14.03	3820.0
24.5	14.92	3820.0
25.5	15.81	3820.0
26.5	16.70	3820.0
27.5	17.59	3820.0
28.5	18.48	3820.0
29.5	19.37	3820.0

Hasil dari **Tabel 4.32** dan **Tabel 4.33**, dimana nilai P akan di inputkan sebagai beban terpusat, sedangkan nilai ks akan di

inputkan sebagai nilai koefisien pegas yang diletakan di titik gaya tersebut. Dengan bantuan program SAP 2000 untuk mencari bidang momen akibat gaya lateral tanah dan pegas tanah yang ditunjukkan oleh oleh **Gambar 4.22**.



Gambar 4. 22 Bidang Momen *output* SAP2000 pada pencarian panjang dinding

Berdasarkan **Gambar 4.22** dapat dilihat bahwa nilai momen mendekati 0 berada di sekitar kedalaman 23 meter. Oleh karena itu, maka *bored pile* akan direncanakan sedalam 23m. Berdasarkan panjang yang didapatkan, tekanan lateral tanah perlu dihitung ulang sesuai dengan kedalaman yang telah ditentukan. Pada perhitungan ini akan dihitung pula tekanan lateral tanah aktif minimum dan pasif maksimum yang menjadi batas atas atau bawah dari tekanan lateral tanah pada perhitungan iterasi. Hasil perhitungan tersebut akan ditunjukkan oleh **Tabel 4.34** untuk sisi belakang dinding penahan tanah dan **Tabel 4.35** untuk sisi didepan dinding penahan tanah. Sementara itu, besar tekanan air akan berubah pula, yang akan ditunjukkan oleh **Tabel 4.36**.

Tabel 4. 34 Perhitungan Besar Tekanan Tanah di setiap Lapisan Tanah di Belakang Dinding Penahan Tanah

Point	H (m)	γ_{sat} (t/m ³)	σ'_z (t/m ²)	C_u (t/m ²)	Φ	K ₀	σ_h (t/m ²)	k_a	σ_h min (t/m ²)	k_p	σ_h max (t/m ²)
1	0	1.738	1.50	4.75	0	1	1.50	1.00	-8.00	1.00	5.86
2a	2.75	1.738	3.53	4.75	0	1	3.53	1.00	-5.97	1.00	7.89
2b	2.75	1.844	3.53	7.75	0	1	3.53	1.00	-11.97	1.00	9.10
3a	4.75	1.844	5.22	7.75	0	1	5.22	1.00	-10.28	1.00	10.79
3b	4.75	1.737	5.22	9.00	0	1	5.22	1.00	-12.78	1.00	11.22
4a	6.75	1.737	6.69	9.00	0	1	6.69	1.00	-11.31	1.00	12.69
4b	6.75	1.773	6.69	9.50	0	1	6.69	1.00	-12.31	1.00	12.86
5a	8.75	1.773	8.24	9.50	0	1	8.24	1.00	-10.76	1.00	14.40
5b	8.75	1.849	8.24	16.25	0	1	8.24	1.00	-24.26	1.00	16.30
6a	10.75	1.849	9.94	16.25	0	1	9.94	1.00	-22.56	1.00	18.00
6b	10.75	1.886	9.94	15.75	0	1	9.94	1.00	-21.56	1.00	17.87
7a	12.75	1.886	11.71	15.75	0	1	11.71	1.00	-19.79	1.00	19.65
7b	12.75	2.100	11.71	15.50	0	1	11.71	1.00	-19.29	1.00	19.58
8a	14.75	2.100	13.91	15.50	0	1	13.91	1.00	-17.09	1.00	21.78
8b	14.75	1.889	13.91	17.75	0	1	13.91	1.00	-21.59	1.00	22.34
9a	23	1.889	21.25	17.75	0	1	21.25	1.00	-14.25	1.00	29.67

Tabel 4. 35 Perhitungan Besar Tekanan Tanah di setiap Lapisan Tanah di Depan Dinding Penahan Tanah

Point	H (m)	γ_{sat} (t/m ³)	σ'_z (t/m ²)	C_u (t/m ²)	Φ	K ₀	σ_h (t/m ²)	k_a	σ_h min (t/m ²)	k_p	σ_h max (t/m ²)
10	0	1.773	0.00	9.500	0.000	1.000	0.00	1.00	-12.67	1.00	5.03
11a	0.75	1.773	0.58	9.500	0.000	1.000	0.58	1.00	-12.09	1.00	5.61
11b	0.75	1.849	0.58	16.250	0.000	1.000	0.58	1.00	-21.09	1.00	7.16
12a	2.75	1.849	2.28	16.250	0.000	1.000	2.28	1.00	-19.39	1.00	8.86
12b	2.75	1.886	2.28	15.750	0.000	1.000	2.28	1.00	-18.72	1.00	8.76
13a	4.75	1.886	4.05	15.750	0.000	1.000	4.05	1.00	-16.95	1.00	10.53
13b	4.75	2.100	4.05	15.500	0.000	1.000	4.05	1.00	-16.62	1.00	10.48
14a	6.75	2.100	6.25	15.500	0.000	1.000	6.25	1.00	-14.42	1.00	12.68
14b	6.75	1.889	6.25	17.750	0.000	1.000	6.25	1.00	-17.42	1.00	13.13
15	15.00	1.889	13.59	17.750	0.000	1.000	13.59	1.00	-10.08	1.00	20.47

Tabel 4. 36 Besar Tekanan Air Pori yang Membebani Dinding

Point	H	σ_w (t/m ²)
1	0	0
2	6	6
3	23	0

Pada proses perhitungan, besar tekanan lateral tanah akan dijadiakan beban tiap meter kedalaman yang berkerja di tiang dinding. Besar gaya-gaya lateral tanah *at-rest*, batas gaya aktif minimum dan pasif maksimum akan ditunjukkan oleh **Tabel 4.37** untuk sisi tanah dibelakang dinding dan **Tabel 4.38** untuk sisi tanah di depan dinding. Pada perhitungan dengan SAP2000, beban air akan di-inputkan ke dalam program bantu dalam bentuk beban trapezoidal. Pada Iterasi pertama, Besar gaya P_0 akan di-input-kan sebagai beban terpusat pada titik pegas, karena diasumsikan pada iterasi ini tiang belum mengalami pergerakan, sedangkan nilai k_s akan di-input-kan sebagai koefisien pegas. Hasil yang diambil dari menjalan program ini adalah defleksi yang terjadi pada tiang *bored pile*.

Tabel 4. 37 Besar Beban Tekanan Tanah di Tiap Meter Kedalamannya di Belakang Dinding

H	At Rest P0	Active Pa Min	Passive Pp Max	ks (t/m)
0	0.84	-3.91	3.02	885.0
1	2.24	-7.26	6.60	1770.0
2	2.98	-6.52	7.33	1770.0
3	3.74	-10.26	13.76	2040
4	4.58	-10.92	10.15	2130.0
5	5.40	-11.98	23.02	2242.5
6	6.14	-11.86	12.14	2280.0
7	6.89	-11.86	31.06	2325
8	7.66	-11.34	13.82	2340.0
9	8.45	-20.67	44.58	3360
10	9.30	-23.20	17.36	3700.0
11	10.16	-21.59	61.08	3670
12	11.04	-20.46	18.98	3660.0
13	11.99	-19.13	73.24	3645.0
14	13.08	-17.92	20.96	3640.0
15	14.13	-20.25	22.41	3775.0
16	15.02	-20.48	23.45	3820.0
17	15.91	-19.59	24.34	3820.0
18	16.80	-18.70	25.23	3820.0
19	17.69	-17.81	26.12	3820.0
20	18.58	-16.92	27.01	3820.0
21	19.47	-16.03	27.89	3820.0
22	20.36	-15.14	28.78	3820.0
23	10.51	-7.13	14.73	1910.0

Tabel 4. 38 Besar Beban Tekanan Tanah di Tiap Meter Kedalamannya di Depan Dinding

H	At Rest P0	Active Pa Min	Passive Pp Max	ks (t/m)
8.5	0.39	-14.53	5.81	2680.0
9.5	1.22	-20.45	7.80	3700.0
10.5	2.07	-19.43	8.62	3690.0
11.5	2.94	-18.06	9.42	3660.0
12.5	3.84	-17.08	10.30	3655.0
13.5	4.88	-15.79	11.30	3640.0
14.5	5.97	-15.36	12.51	3685.0
15.5	6.92	-16.40	13.80	3820.0
16.5	7.81	-15.86	14.69	3820.0
17.5	8.70	-14.97	15.58	3820.0
18.5	9.59	-14.08	16.47	3820.0
19.5	10.48	-13.19	17.36	3820.0
20.5	11.36	-12.30	18.24	3820.0
21.5	12.25	-11.41	19.13	3820.0
22.5	13.14	-10.52	20.02	3820.0

Setelah dilakukan proses perhitungan dalam program bantu SAP2000, akan diambil hasil defleksi yang terjadi seperti pada **Tabel 4.37** untuk Iterasi pertama. Hasil defleksi ini akan digunakan untuk menghitung gaya lateral tanah pada iterasi berikutnya.

Tabel 4. 39 Besar Defleksi Dinding Setelah Iterasi Pertama di Setiap Titik Tangkap Beban

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.00374	8.5	-0.00257
1	0.00362	9.5	-0.00239
2	0.00351	10.5	-0.00222
3	0.00339	11.5	-0.00205
4	0.00326	12.5	-0.00188
5	0.00313	13.5	-0.00172
6	0.00298	14.5	-0.00156
7	0.00282	15.5	-0.0014
8	0.00266	16.5	-0.00124
9	0.00248	17.5	-0.00107
10	0.00231	18.5	-0.0009
11	0.00213	19.5	-0.00072
12	0.00197	20.5	-0.00052
13	0.0018	21.5	-0.00032
14	0.00164	22.5	-0.00011
15	0.00148		
16	0.00132		
17	0.00116		
18	0.00099		
19	0.00081		
20	0.00062		
21	0.00042		
22	0.00022		
23	0		

Pada perhitungan Iterasi berikutnya, besar deformasi dari **Tabel 4.39** mempengaruhi besar gaya pada iterasi berikutnya. Besar gaya akan membesar atau mengecil berdasarkan defleksi yang terjadi. Perhitungan gaya yang menjadi Iterasi ke-2 ditunjukkan oleh **Tabel 4.40** untuk sisi tanah di belakang dinding dan **Tabel 4.41** untuk sisi tanah di depan dinding. Contoh perhitungan dari besar tekanan lateral tanah:

$$P_{a_{1m}} = P_0 - ks \times \delta = 2.24 - 1770 \times 0.018 = -29.64 \text{ t} < 0 \text{ t}$$

$$P_{p_{8.5m}} = P_0 + ks \times \delta = 0.4 + 2680 \times 0.0093 = 25.32 \text{ t} > 5.8 \text{ t}$$

Bila gaya yang didapatkan telah melebihi gaya aktif minimum dan gaya pasif maksimum maka pegas pada titik tersebut dihilangkan. Hal ini disebabkan karena tekanan pada lapisan tersebut telah melewati batas plastisnya yang

menyebabkan gaya tersebut tidak berkurang ataupun bertambah lagi.

Hasil yang diharapkan dari perhitungan kali ini adalah besar defleksi yang terjadi pada iterasi kedua. Sehingga, dapat menjadi perbandingan dengan defleksi pada iterasi pertama, sehingga dapat diketahui apakah diperlukan iterasi yang berikutnya. Hasil defleksi dari SAP2000 ditunjukkan oleh **Tabel 4.42**.

Tabel 4. 40 Perhitungan Gaya beban di Sisi Belakang Dinding pada Iterasi 2

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8422	0.0192	885.0	-3.91	-16.14	0.00	no
1	2.2379	0.0180	1770	-7.26	-29.64	0.00	no
2	2.9759	0.0168	1770	-6.52	-26.82	0.00	no
3	3.7437	0.0157	2040	-10.26	-28.19	0.00	no
4	4.5847	0.0145	2130	-10.92	-26.25	0.00	no
5	5.399	0.0133	2242.5	-11.98	-24.44	0.00	no
6	6.1396	0.0121	2280	-11.86	-21.54	0.00	no
7	6.8869	0.0110	2325	-11.86	-18.66	0.00	no
8	7.6591	0.0099	2340	-11.34	-15.41	0.00	no
9	8.4536	0.0088	3360	-20.67	-20.98	0.00	no
10	9.3002	0.0077	3700	-23.20	-19.22	0.00	no
11	10.16	0.0067	3670	-21.59	-14.47	0.00	no
12	11.044	0.0058	3660	-20.46	-10.11	0.00	no
13	11.991	0.0049	3645	-19.13	-5.95	0.00	no
14	13.084	0.0041	3640	-17.92	-1.99	0.00	no
15	14.125	0.0034	3775	-20.25	1.13	1.13	yes
16	15.021	0.0028	3820	-20.48	4.24	4.24	yes
17	15.911	0.0023	3820	-19.59	7.22	7.22	yes
18	16.8	0.0018	3820	-18.70	9.94	9.94	yes
19	17.69	0.0014	3820	-17.81	12.45	12.45	yes
20	18.579	0.0010	3820	-16.92	14.79	14.79	yes
21	19.468	0.0006	3820	-16.03	17.01	17.01	yes
22	20.358	0.0003	3820	-15.14	19.16	19.16	yes
23	10.512	0.0000	1910	-7.13	10.51	10.51	yes

Tabel 4. 41 Perhitungan Beban di Sisi Depan Dinding pada Iterasi 2

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
8.5	0.4	0.0093	2680.0	5.8	25.32	5.81	no
9.5	1.2	0.0082	3700.0	7.8	31.66	7.80	no
10.5	2.1	0.0072	3690.0	8.6	28.64	8.62	no
11.5	2.9	0.0062	3660.0	9.4	25.77	9.42	no
12.5	3.8	0.0053	3655.0	10.3	23.36	10.30	no
13.5	4.9	0.0045	3640.0	11.3	21.34	11.30	no
14.5	6.0	0.0038	3685.0	12.5	19.91	12.51	no
15.5	6.9	0.0031	3820.0	13.8	18.84	13.80	no
16.5	7.8	0.0025	3820.0	14.7	17.51	14.69	no
17.5	8.7	0.0020	3820.0	15.6	16.44	15.58	no
18.5	9.6	0.0016	3820.0	16.5	15.61	15.61	yes
19.5	10.5	0.0012	3820.0	17.4	14.97	14.97	yes
20.5	11.4	0.0008	3820.0	18.2	14.47	14.47	yes
21.5	12.3	0.0005	3820.0	19.1	14.07	14.07	yes
22.5	13.1	0.0002	3820.0	20.0	13.73	13.73	yes

Tabel 4. 42 Hasil Defleksi Dinding pada Akhir Iterasi 2

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.00974	8.5	-0.00443
1	0.0091	9.5	-0.00388
2	0.00846	10.5	-0.00338
3	0.00782	11.5	-0.00293
4	0.00718	12.5	-0.00253
5	0.00654	13.5	-0.00217
6	0.00592	14.5	-0.00185
7	0.0053	15.5	-0.00157
8	0.00471	16.5	-0.00132
9	0.00415	17.5	-0.00109
10	0.00363	18.5	-0.00088
11	0.00315	19.5	-0.00068
12	0.00272	20.5	-0.00049
13	0.00234	21.5	-0.00029
14	0.002	22.5	-9.7E-05
15	0.0017		
16	0.00144		
17	0.0012		
18	0.00098		
19	0.00078		
20	0.00058		
21	0.00039		
22	0.0002		
23	0		

Iterasi ini akan dilakukan hingga perbedaan dari defleksi sebesar 0.1 mm dan perbedaan gaya sudah mendekati nilai 0.1 ton. Seluruh hasil dari iterasi dapat dilihat di Lampiran. Pada Iterasi ke-6, perbedaan defleksi dan perbedaan gaya tersebut sudah kurang dari yang diinginkan, sehingga proses iterasi akan dihentikan pada iterasi ke-6. Hasil dari iterasi tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.43** dan, **Tabel 4.44** untuk Besar gaya yang terjadi, sedangkan **Tabel 4.45**, dan **Gambar 4.23** menunjukkan deformasi dinding yang terjadi.

Tabel 4. 43 Perhitungan Gaya beban di Sisi Tidak Digali pada Akhir Iterasi

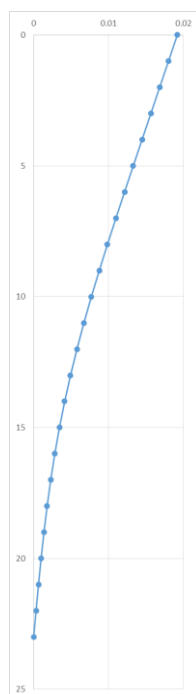
H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8422	0.0192	885.0	-3.91	-16.14	0.00	no
1	2.2379	0.0180	1770	-7.26	-29.64	0.00	no
2	2.9759	0.0168	1770	-6.52	-26.82	0.00	no
3	3.7437	0.0157	2040	-10.26	-28.19	0.00	no
4	4.5847	0.0145	2130	-10.92	-26.25	0.00	no
5	5.399	0.0133	2242.5	-11.98	-24.44	0.00	no
6	6.1396	0.0121	2280	-11.86	-21.54	0.00	no
7	6.8869	0.0110	2325	-11.86	-18.66	0.00	no
8	7.6591	0.0099	2340	-11.34	-15.41	0.00	no
9	8.4536	0.0088	3360	-20.67	-20.98	0.00	no
10	9.3002	0.0077	3700	-23.20	-19.22	0.00	no
11	10.16	0.0067	3670	-21.59	-14.47	0.00	no
12	11.044	0.0058	3660	-20.46	-10.11	0.00	no
13	11.991	0.0049	3645	-19.13	-5.95	0.00	no
14	13.084	0.0041	3640	-17.92	-1.99	0.00	no
15	14.125	0.0034	3775	-20.25	1.13	1.13	yes
16	15.021	0.0028	3820	-20.48	4.24	4.24	yes
17	15.911	0.0023	3820	-19.59	7.22	7.22	yes
18	16.8	0.0018	3820	-18.70	9.94	9.94	yes
19	17.69	0.0014	3820	-17.81	12.45	12.45	yes
20	18.579	0.0010	3820	-16.92	14.79	14.79	yes
21	19.468	0.0006	3820	-16.03	17.01	17.01	yes
22	20.358	0.0003	3820	-15.14	19.16	19.16	yes
23	10.512	0.0000	1910	-7.13	10.51	10.51	yes

Tabel 4. 44 Perhitungan Gaya beban di Sisi Tidak Digali pada Akhir Iterasi

8.5	0.4	0.0093	2680.0	5.8	25.32	5.81	no
9.5	1.2	0.0082	3700.0	7.8	31.66	7.80	no
10.5	2.1	0.0072	3690.0	8.6	28.64	8.62	no
11.5	2.9	0.0062	3660.0	9.4	25.77	9.42	no
12.5	3.8	0.0053	3655.0	10.3	23.36	10.30	no
13.5	4.9	0.0045	3640.0	11.3	21.34	11.30	no
14.5	6.0	0.0038	3685.0	12.5	19.91	12.51	no
15.5	6.9	0.0031	3820.0	13.8	18.84	13.80	no
16.5	7.8	0.0025	3820.0	14.7	17.51	14.69	no
17.5	8.7	0.0020	3820.0	15.6	16.44	15.58	no
18.5	9.6	0.0016	3820.0	16.5	15.61	15.61	yes
19.5	10.5	0.0012	3820.0	17.4	14.97	14.97	yes
20.5	11.4	0.0008	3820.0	18.2	14.47	14.47	yes
21.5	12.3	0.0005	3820.0	19.1	14.07	14.07	yes
22.5	13.1	0.0002	3820.0	20.0	13.73	13.73	yes

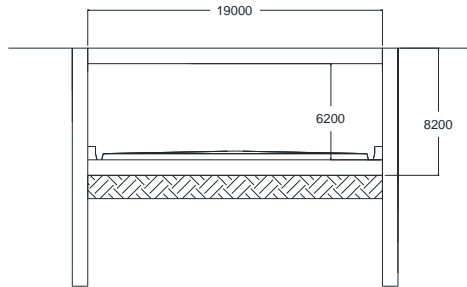
Tabel 4. 45 Hasil Defleksi di Setiap Titik Tangkap Beban

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.01919	8.5	-0.0093
1	0.01801	9.5	-0.00823
2	0.01683	10.5	-0.0072
3	0.01565	11.5	-0.00624
4	0.01448	12.5	-0.00534
5	0.0133	13.5	-0.00452
6	0.01214	14.5	-0.00378
7	0.01099	15.5	-0.00312
8	0.00986	16.5	-0.00254
9	0.00876	17.5	-0.00203
10	0.00771	18.5	-0.00158
11	0.00671	19.5	-0.00118
12	0.00578	20.5	-0.00081
13	0.00492	21.5	-0.00048
14	0.00414	22.5	-0.00015
15	0.00344		
16	0.00282		
17	0.00228		
18	0.0018		
19	0.00137		
20	0.00099		
21	0.00064		
22	0.00031		
23	0		



Gambar 4. 23 Bentuk Deformasi Tiang pada Iterasi Terakhir

ii. Model 2



Gambar 4. 24 Potongan Model 2

Model ke-2 adalah contoh perhitungan pada segmen *approach* dimana permukaan jalan masih dekat dengan permukaan tanah. Seperti pada **Gambar 4.24**, potongan *approach* ini telah tertutup oleh pelat beton. Fungsinya agar kegiatan di atas permukaan tanah masih dapat berlangsung meskipun proses penggalian terowongan dilaksanakan. Pada perencanaan, kekakuan dari pelat penutup akan diperhitungkan sebagai salah satu tumpuan dari dinding *soldier pile*. Data tanah digunakan untuk melakukan perhitungan adalah data tanah 2 yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.44**.

Tabel 4. 46 Data tanah yang digunakan untuk Model 2

Hatas	Hbawah	Cu(t/m ²)	ysat (t/m ³)	Φ (deg)	Ks (t/m ³)	Es (Kpa)
0 -	2.75	4.5	1.762	0	1770	33120
2.75 -	4.75	5	1.815	0	2130	41400
4.75 -	6.75	9.75	1.667	0	2280	57960
6.75 -	8.75	8	1.766	0	2340	45080
8.75 -	10.75	15.75	2.031	0	3700	65320
10.75 -	12.75	15.5	1.879	0	3660	63480
12.75 -	14.75	15.75	1.887	0	3640	65320
14.75 -	16	18.75	1.922	0	3820	87400

- Asumsi:
- Diameter *bored pile*: 1 meter
 - Kerusakan tanah akibat penggalian sedalam 1.5D
 - Kedalaman *pile* awal 50 meter
 - Beban surcharge tambahan sebesar 1.5t/m²
 - Bagian terdalam *bored pile* setelah pencarian kedalam sudah terjepit.

Dengan asumsi-asumsi yang telah diambil di atas, langkah pertama dari desain ini akan mencari kedalaman dari *bored pile* yang akan dipasang. Pencarian kedalaman akan direncanakan dengan menggunakan beban tekanan lateral tanah pada kondisi *at rest*. Perhitungan tekanan lateral tanah dalam kondisi *at-rest* ditunjukkan oleh **Tabel 4.47** Untuk tekanan di sisi belakang dinding dan **Tabel 4.48** Untuk tekanan di sisi depan dinding. Tekanan lateral tanah di depan dinding akan diasumsikan dimulai pada kedalaman -9.5 meter akibat dari kerusakan akibat proses penggalian. Beban air akan membebani tiang sesuai dengan asumsi awal yang diambil. Besar tekanan air dilihat pada **Tabel 4.49**.

Tabel 4. 47 Perhitungan tekanan lateral tanah di belakang dinding pada kondisi awal Model 2

Point	H (m)	γ_{sat} (t/m ³)	σ'_z (t/m ²)	C_u (t/m ²)	Φ	K ₀	σ_h (t/m ²)
1	0	1.762	1.50	4.50	0	1	1.50
2a	2.75	1.762	3.60	4.50	0	1	3.60
2b	2.75	1.815	3.60	5.00	0	1	3.60
3a	4.75	1.815	5.23	5.00	0	1	5.23
3b	4.75	1.667	5.23	9.75	0	1	5.23
4a	6.75	1.667	6.56	9.75	0	1	6.56
4b	6.75	1.766	6.56	8.00	0	1	6.56
5a	8.75	1.766	8.09	8.00	0	1	8.09
5b	8.75	2.031	8.09	15.75	0	1	8.09
6a	10.75	2.031	10.15	15.75	0	1	10.15
6b	10.75	1.879	10.15	15.50	0	1	10.15
7a	12.75	1.879	11.91	15.50	0	1	11.91
7b	12.75	1.887	11.91	15.75	0	1	11.91
8a	14.75	1.887	13.68	15.75	0	1	13.68
8b	14.75	1.922	13.68	18.75	0	1	13.68
9a	50	1.922	46.18	18.75	0	1	46.18

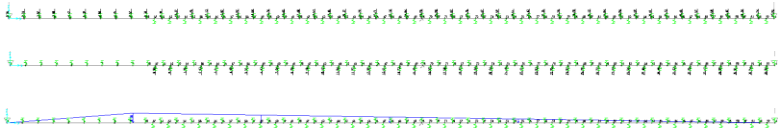
Tabel 4. 48 perhitungan tekanan lateral tanah di depan dinding pada kondisi awal Model 2

Point	H (m)	γ_{sat} (t/m ³)	σ'_z (t/m ²)	C_u (t/m ²)	Φ	K ₀	σ_h (t/m ²)
1	0	2.031	0.00	15.750	0	1	0.00
	1.25	2.031	1.29	15.750	0	1	1.29
	1.25	1.879	1.29	15.500	0	1	1.29
	3.25	1.879	3.05	15.500	0	1	3.05
	3.25	1.887	3.05	15.750	0	1	3.05
	5.25	1.887	4.82	15.750	0	1	4.82
	5.25	1.922	4.82	18.750	0	1	4.82
	40.50	1.922	37.32	18.750	0	1	37.32

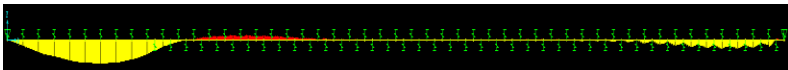
Tabel 4. 49 Besar Tekanan Air Pori Tanah.

Point	H	σ_w (t/m ²)
1	0	0
2	8	8.2
3	50	0

Untuk membantu perhitungan, tekanan lateral akan diganti menjadi beban terpusat di tiap meter kedalaman. Besar beban terpusat tersebut merupakan luas 1 x 1 meter dari tekanan lateral. dengan perhitungan itu maka akan didapatkan besar beban terpusat di tiap meter kedalaman pada kondisi *at-rest*, yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.50**, dan **Tabel 4.51**. Hasil perhitungan beban terpusat akan diinputkan ke dalam program SAP2000 untuk mendapatkan bidang momen dari dinding dan pemilihan kedalaman dinding penahan tanah. Besar beban terpusat dan ks akan diinputkan kedalam SAP2000 dan beban air akan di inputkan sebagai beban trapezoidal di dalam SAP2000. **Gambar 4.25** akan menunjukkan Input input beban di dalam SAP2000.

**Gambar 4. 25** Input SAP2000 pada Model 2 untuk menentukan kedalaman dinding

Hasil yang akan diambil pada *run* SAP2000 adalah bidang momen dinding. Bidang momen dinding dapat dilihat pada **Gambar 4.26**. Berdasarkan hasil tersebut, didapatkan kedalaman dinding adalah 27 meter, dan sebagai factor keamanan, kedalaman dinding akan ditambah hingga kedalaman 30 meter.

**Gambar 4. 26** Bidang momen pada penentuan panjang dinding

Tabel 4. 50 Beban Terpusat Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	At Rest PO	ks
0	0.85	870.0
1	2.26	1740.0
2	3.02	1740.0
3	3.80	1785
4	4.62	1800.0
5	5.39	2227.5
6	6.06	2370.0
7	6.75	2212.5
8	7.52	2160.0
9	8.36	3285
10	9.38	3660.0
11	10.37	3645
12	11.25	3640.0
13	12.13	3655.0
14	13.02	3660.0
15	13.92	3840.0
16	14.84	3900.0
17	15.76	3900.0
18	16.68	3900.0
19	17.60	3900.0
20	18.53	3900.0
21	19.45	3900.0
22	20.37	3900.0
23	21.29	3900.0
24	22.21	3900.0
25	23.14	3900.0
26	24.06	3900.0
27	24.98	3900.0
28	25.90	3900.0
29	26.82	3900.0
30	27.74	3900.0
31	28.67	3900.0
32	29.59	3900.0
33	30.51	3900.0
34	31.43	3900.0
35	32.35	3900.0
36	33.28	3900.0
37	34.20	3900.0
38	35.12	3900.0
39	36.04	3900.0
40	36.96	3900.0
41	37.89	3900.0
42	38.81	3900.0
43	39.73	3900.0
44	40.65	3900.0
45	41.57	3900.0
46	42.50	3900.0
47	43.42	3900.0
48	44.34	3900.0
49	45.26	3900.0
50	22.98	1950.0

Tabel 4. 51 Beban Terpusat Tekanan Tanah di depan Dinding

H	At Rest PO	ks
9.5	0.08	1830.0
10.5	0.95	3655.0
11.5	1.95	3640.0
12.5	2.83	3645.0
13.5	3.71	3660.0
14.5	4.60	3720.0
15.5	5.51	3900.0
16.5	6.43	3900.0
17.5	7.36	3900.0
18.5	8.28	3900.0
19.5	9.20	3900.0
20.5	10.12	3900.0
21.5	11.04	3900.0
22.5	11.97	3900.0
23.5	12.89	3900.0
24.5	13.81	3900.0
25.5	14.73	3900.0
26.5	15.65	3900.0
27.5	16.57	3900.0
28.5	17.50	3900.0
29.5	18.42	3900.0
30.5	19.34	3900.0
31.5	20.26	3900.0
32.5	21.18	3900.0
33.5	22.11	3900.0
34.5	23.03	3900.0
35.5	23.95	3900.0
36.5	24.87	3900.0
37.5	25.79	3900.0
38.5	26.72	3900.0
39.5	27.64	3900.0
40.5	28.56	3900.0
41.5	29.48	3900.0
42.5	30.40	3900.0
43.5	31.33	3900.0
44.5	32.25	3900.0
45.5	33.17	3900.0
46.5	34.09	3900.0
47.5	35.01	3900.0
48.5	35.94	3900.0
49.5	36.86	3900.0

Dengan kedalaman dinding yang berbeda, maka tekanan lateral tanah harus hitung kembali. Pada perhitungan kali ini, batas tekanan lateral aktif minimum dan tekanan pasif maksimum diperhitungkan pula. Nantinya tekanan aktif minimum dan tekanan pasif maksimum menjadi batas minimum dan maksimum dari beban tekanan tanah. Hasil dari perhitungan tekanan lateral tanah di belakang dinding dan di depan dinding dilihat pada **Tabel 4.52** dan **Tabel 4.53**. Begitu pula tekanan air pori juga akan berubah, yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.54**.

Tabel 4. 52 Pehitungan tekanan lateral tanah di sisi belakang dinding Model 2 setelah kedalaman dinding telah ditentukan

Point	H (m)	ysat (t/m3)	σ'_z (t/m2)	Cu (t/m2)	Φ	K0	oh (t/m2)	ka	oh min (t/m2)	kp	oh max (t/m2)
1	0	1.762	1.50	4.50	0	1	1.50	1	-7.50	1	5.74
2a	2.75	1.762	3.60	4.50	0	1	3.60	1	-5.40	1	7.84
2b	2.75	1.815	3.60	5.00	0	1	3.60	1	-6.40	1	8.07
3a	4.75	1.815	5.23	5.00	0	1	5.23	1	-4.77	1	9.70
3b	4.75	1.667	5.23	9.75	0	1	5.23	1	-14.27	1	11.47
4a	6.75	1.667	6.56	9.75	0	1	6.56	1	-12.94	1	12.80
4b	6.75	1.766	6.56	8.00	0	1	6.56	1	-9.44	1	12.22
5a	8.75	1.766	8.09	8.00	0	1	8.09	1	-7.91	1	13.75
5b	8.75	2.031	8.09	15.75	0	1	8.09	1	-23.41	1	16.03
6a	10.75	2.031	10.15	15.75	0	1	10.15	1	-21.35	1	18.09
6b	10.75	1.879	10.15	15.50	0	1	10.15	1	-20.85	1	18.03
7a	12.75	1.879	11.91	15.50	0	1	11.91	1	-19.09	1	19.78
7b	12.75	1.887	11.91	15.75	0	1	11.91	1	-19.59	1	19.85
8a	14.75	1.887	13.68	15.75	0	1	13.68	1	-17.82	1	21.62
8b	14.75	1.922	13.68	18.75	0	1	13.68	1	-23.82	1	22.35
9a	30	1.922	27.74	18.75	0	1	27.74	1	-9.76	1	36.41

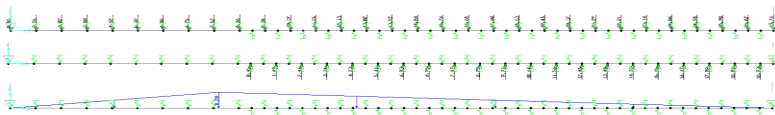
Tabel 4. 53 Pehitungan tekanan lateral tanah di sisi depan dinding Model 2 setelah kedalaman dinding telah ditentukan

Point	H (m)	ysat (t/m3)	σ'_z (t/m2)	Cu (t/m2)	Φ	K0	oh (t/m2)	ka	oh min (t/m2)	kp	oh max (t/m2)
10	0	2.031	0.00	15.750	0.000	1	0.00	1	-31.50	1	7.94
11a	1.75	2.031	1.80	15.750	0.000	1	1.80	1	-29.70	1	9.74
11b	1.75	1.879	1.80	15.500	0.000	1	1.80	1	-29.20	1	9.68
12a	3.75	1.879	3.56	15.500	0.000	1	3.56	1	-27.44	1	11.44
12b	3.75	1.887	3.56	15.750	0.000	1	3.56	1	-27.94	1	11.50
13a	5.75	1.887	5.34	15.750	0.000	1	5.34	1	-26.16	1	13.27
13b	5.75	1.922	5.34	18.750	0.000	1	5.34	1	-32.16	1	14.00
14	21.00	1.922	19.40	18.750	0.000	1	19.40	1	-18.10	1	28.06

Tabel 4. 54 Tekanan Air Pori

Point	H	ow (t/m2)
1	0	0
2	8.2	8.2
3	30	0

Seperti pada perhitungan sebelumnya, tekanan lateral tanah akan di ganti menjadi beban terpusat pada setiap meter di kedalam dinding. Pada perhitungan beban terpusat kali ini akan diperhitungkan pula batas minimum dan batas maksimum dari tiap meter kedalam. Perhitungan beban terpusat dan batasnya ditunjukkan pada **Tabel 4.55** dan **Tabel 4.56**, untuk beban di sisi belakang dinding dan depan dinding. Kemudian, beban ini akan di inputkan kedalam SAP2000 untuk mencari deformasi dinding. **Gambar 4.27** Menunjukkan input SAP2000.



Gambar 4. 27 Input pada SAP 2000 untuk iterasi 1 Model 2

Pada iterasi kali ini, hasil analisis yang diambil adalah defleksi dari tiang yang terjadi. Defleksi dinding ini akan menimbulkan beban tekanan tanah akan bertambah atau berkurang tergantung dari defleksi dinding. Hasil dari analisis SAP2000 akan ditunjukkan oleh **Tabel 4.57** yang menunjukkan deformasi dinding di titik tangkap beban terpusat.

Tabel 4. 55 Perhitungan Beban (P) di Sisi Belakang Dinding

H	P0	Pa Min	Pp Max	ks
0	0.85	-3.65	2.97	870.0
1	2.26	-6.74	6.51	1740.0
2	3.02	-5.98	7.27	1740.0
3	3.80	-5.95	12.16	1785
4	4.62	-5.38	9.09	1800.0
5	5.39	-11.74	21.09	2227.5
6	6.06	-13.44	12.30	2370.0
7	6.75	-10.12	29.82	2212.5
8	7.52	-8.48	13.17	2160.0
9	8.36	-19.27	42.02	3285
10	9.38	-22.12	17.32	3660.0
11	10.37	-20.76	61.82	3645
12	11.25	-19.75	19.13	3640.0
13	12.13	-19.24	74.45	3655.0
14	13.02	-18.48	20.96	3660.0
15	13.92	-22.08	22.40	3840.0
16	14.84	-22.66	23.50	3900.0
17	15.76	-21.74	24.42	3900.0
18	16.68	-20.82	25.34	3900.0
19	17.60	-19.90	26.26	3900.0
20	18.53	-18.97	27.19	3900.0
21	19.45	-18.05	28.11	3900.0
22	20.37	-17.13	29.03	3900.0
23	21.29	-16.21	29.95	3900.0
24	22.21	-15.29	30.87	3900.0
25	23.14	-14.36	31.80	3900.0
26	24.06	-13.44	32.72	3900.0
27	24.98	-12.52	33.64	3900.0
28	25.90	-11.60	34.56	3900.0
29	26.82	-10.68	35.48	3900.0
30	13.76	-4.99	18.09	1950.0

Tabel 4. 56 Perhitungan Beban (P) di Sisi Depan Dinding

H	P0	Pa Min	Pp Max	ks
9.5	0.45	-31.05	8.39	3660.0
10.5	1.49	-29.88	9.41	3655.0
11.5	2.46	-28.54	10.34	3640.0
12.5	3.34	-27.78	11.23	3645.0
13.5	4.23	-27.27	12.16	3660.0
14.5	5.11	-27.89	13.23	3720.0
15.5	6.03	-31.47	14.69	3900.0
16.5	6.95	-30.55	15.61	3900.0
17.5	7.87	-29.63	16.53	3900.0
18.5	8.79	-28.71	17.45	3900.0
19.5	9.71	-27.79	18.37	3900.0
20.5	10.64	-26.86	19.30	3900.0
21.5	11.56	-25.94	20.22	3900.0
22.5	12.48	-25.02	21.14	3900.0
23.5	13.40	-24.10	22.06	3900.0
24.5	14.32	-23.18	22.98	3900.0
25.5	15.25	-22.25	23.91	3900.0
26.5	16.17	-21.33	24.83	3900.0
27.5	17.09	-20.41	25.75	3900.0
28.5	18.01	-19.49	26.67	3900.0
29.5	18.93	-18.57	27.59	3900.0

Tabel 4. 57 Deformasi Dinding pada Titik Beban Belakang Dinding

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.0000	9.5	-0.00305
1	0.0007	10.5	-0.00286
2	0.0014	11.5	-0.00265
3	0.0020	12.5	-0.00244
4	0.0025	13.5	-0.00226
5	0.0028	14.5	-0.00209
6	0.0031	15.5	-0.00195
7	0.0032	16.5	-0.00184
8	0.0032	17.5	-0.00175
9	0.0031	18.5	-0.00167
10	0.0030	19.5	-0.00161
11	0.0028	20.5	-0.00156
12	0.0025	21.5	-0.0015
13	0.0023	22.5	-0.00143
14	0.0022	23.5	-0.00135
15	0.0020	24.5	-0.00124
16	0.0019	25.5	-0.0011
17	0.0018	26.5	-0.00093
18	0.0017	27.5	-0.00071
19	0.0016	28.5	-0.00045
20	0.0016	29.5	-0.00015
21	0.0015		
22	0.0015		
23	0.0014		
24	0.0013		
25	0.0012		
26	0.0010		
27	0.0008		
28	0.0006		
29	0.0003		
30	0.0000		

Dengan hasil deformasi dari **Tabel 4.57**, maka perlu dilakukan iterasi berikutnya dengan memperhitungkan faktor dari deformasi iterasi sebelumnya. Iterasi ke-2 akan mempertimbangkan deformasi dari iterasi sebelumnya dan begitu pada iterasi berikutnya. Tekanan Lateral tanah pada Iterasi ke 2 akan ditunjukkan pada **Tabel 4.58** dan **Tabel 4.59**. untuk tekanan tanah di belakang dan di depan dinding.

Tabel 4. 58 Beban Lateral Tanah di Belakang Dinding pada Iterasi 2

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8453	0	870	0	0.85	0.85	yes
1	2.2624	0.0007	1740	0	1.04	1.04	yes
2	3.0249	0.001364	1740	0	0.65	0.65	yes
3	3.802	0.001959	1785	0	0.31	0.31	yes
4	4.615	0.00246	1800	0	0.19	0.19	yes
5	5.3881	0.002845	2227.5	0	-0.95	0.00	no
6	6.0594	0.003103	2370	0	-1.29	0.00	no
7	6.7542	0.00323	2212.5	0	-0.39	0.00	no
8	7.5174	0.003231	2160.0	0	0.54	0.54	yes
9	8.358	0.003127	3285	0	-1.91	0.00	no
10	9.3804	0.002955	3660	0	-1.43	0.00	no
11	10.368	0.002752	3645	0	0.34	0.34	yes
12	11.252	0.002544	3640	0	1.99	1.99	yes
13	12.133	0.002347	3655	0	3.55	3.55	yes
14	13.02	0.00217	3660	0	5.08	5.08	yes
15	13.916	0.002018	3840	0	6.17	6.17	yes
16	14.837	0.001892	3900	0	7.46	7.46	yes
17	15.759	0.00179	3900	0	8.78	8.78	yes
18	16.681	0.001708	3900	0	10.02	10.02	yes
19	17.603	0.001642	3900	0	11.20	11.20	yes
20	18.525	0.001585	3900	0	12.34	12.34	yes
21	19.447	0.001531	3900	0	13.48	13.48	yes
22	20.369	0.00147	3900	0	14.64	14.64	yes
23	21.291	0.001397	3900	0	15.84	15.84	yes
24	22.213	0.001303	3900	0	17.13	17.13	yes
25	23.135	0.001181	3900	0	18.53	18.53	yes
26	24.057	0.001022	3900	0	20.07	20.07	yes
27	24.979	0.000824	3900	0	21.77	21.77	yes
28	25.901	0.000583	3900	0	23.63	23.63	yes
29	26.823	0.000306	3900	0	25.63	25.63	yes
30	13.757	0	1950	0	13.76	13.76	yes

Tabel 4. 59 Beban Lateral Tanah di Depan Dinding pada Iterasi 2

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
9.5	0.451	0.003046	3660	8.3881732	11.60	8.39	no
10.5	1.493	0.002855	3655	9.4143887	11.93	9.41	no
11.5	2.463	0.002647	3640	10.336697	12.10	10.34	no
12.5	3.342	0.002442	3645	11.23145	12.24	11.23	no
13.5	4.226	0.002255	3660	12.163541	12.48	12.16	no
14.5	5.114	0.00209	3720	13.232377	12.89	12.89	yes
15.5	6.027	0.00195	3900	14.686767	13.63	13.63	yes
16.5	6.948	0.001837	3900	15.608748	14.11	14.11	yes
17.5	7.87	0.001746	3900	16.530728	14.68	14.68	yes
18.5	8.792	0.001673	3900	17.452708	15.32	15.32	yes
19.5	9.714	0.001612	3900	18.374689	16.00	16.00	yes
20.5	10.64	0.001557	3900	19.296669	16.71	16.71	yes
21.5	11.56	0.0015	3900	20.218649	17.41	17.41	yes
22.5	12.48	0.001434	3900	21.14063	18.07	18.07	yes
23.5	13.4	0.001352	3900	22.06261	18.68	18.68	yes
24.5	14.32	0.001244	3900	22.98459	19.18	19.18	yes
25.5	15.25	0.001104	3900	23.906571	19.55	19.55	yes
26.5	16.17	0.000926	3900	24.828551	19.78	19.78	yes
27.5	17.09	0.000706	3900	25.750531	19.84	19.84	yes
28.5	18.01	0.000446	3900	26.672512	19.75	19.75	yes
29.5	18.93	0.000153	3900	27.594492	19.53	19.53	yes

Proses iterasi akan berlanjut hingga tidak ada perbedaan defleksi dan beban mendekati 0. Proses iterasi dapat dilihat pada Lampiran. Pada iterasi ke-6, perbedaan nilai defleksi dan beban lateral sudah 0 sehingga iterasi dapat dihentikan. Besar tekanan lateral tanah yang menekan dinding dapat dilihat pada **Tabel 4.60** dan **Tabel 4.61**, sedangkan defleksi yang terjadi pada dinding ditunjukkan oleh **Tabel 4.62** dan **Gambar 4.28**.

Tabel 4. 60 Beban Lateral Tanah di Belakang Dinding pada Iterasi 6

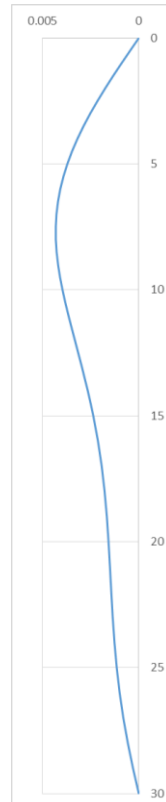
H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8453	0	870	0	0.85	0.85	yes
1	2.2624	0.000896	1740	0	0.70	0.70	yes
2	3.0249	0.00175	1740	0	-0.02	0.00	no
3	3.802	0.002527	1785	0	-0.71	0.00	no
4	4.615	0.003192	1800	0	-1.13	0.00	no
5	5.3881	0.003717	2227.5	0	-2.89	0.00	no
6	6.0594	0.004084	2370	0	-3.62	0.00	no
7	6.7542	0.004282	2212.5	0	-2.72	0.00	no
8	7.5174	0.004315	2160.0	0	-1.80	0.00	no
9	8.358	0.0042	3285	0	-5.44	0.00	no
10	9.3804	0.003969	3660	0	-5.15	0.00	no
11	10.368	0.003665	3645	0	-2.99	0.00	no
12	11.252	0.003324	3640	0	-0.85	0.00	no
13	12.133	0.00298	3655	0	1.24	1.24	yes
14	13.02	0.002656	3660	0	3.30	3.30	yes
15	13.916	0.002368	3840	0	4.82	4.82	yes
16	14.837	0.002126	3900	0	6.55	6.55	yes
17	15.759	0.001931	3900	0	8.23	8.23	yes
18	16.681	0.001779	3900	0	9.74	9.74	yes
19	17.603	0.001664	3900	0	11.11	11.11	yes
20	18.525	0.001575	3900	0	12.38	12.38	yes
21	19.447	0.001501	3900	0	13.59	13.59	yes
22	20.369	0.001433	3900	0	14.78	14.78	yes
23	21.291	0.001358	3900	0	15.99	15.99	yes
24	22.213	0.001266	3900	0	17.28	17.28	yes
25	23.135	0.001149	3900	0	18.65	18.65	yes
26	24.057	0.000997	3900	0	20.17	20.17	yes
27	24.979	0.000805	3900	0	21.84	21.84	yes
28	25.901	0.000571	3900	0	23.67	23.67	yes
29	26.823	0.0003	3900	0	25.65	25.65	yes
30	13.757	0	1950	0	13.76	13.76	yes

Tabel 4. 61 Beban Lateral Tanah di Depan Dinding pada Iterasi 6

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
9.5	0.451	0.004096	3660	8.3881732	15.44	8.39	no
10.5	1.493	0.003823	3655	9.4143887	15.47	9.41	no
11.5	2.463	0.003496	3640	10.336697	15.19	10.34	no
12.5	3.342	0.00315	3645	11.23145	14.82	11.23	no
13.5	4.226	0.002814	3660	12.163541	14.53	12.16	no
14.5	5.114	0.002506	3720	13.232377	14.44	13.23	no
15.5	6.027	0.00224	3900	14.686767	14.76	14.69	no
16.5	6.948	0.002021	3900	15.608748	14.83	14.83	yes
17.5	7.87	0.001849	3900	16.530728	15.08	15.08	yes
18.5	8.792	0.001716	3900	17.452708	15.48	15.48	yes
19.5	9.714	0.001615	3900	18.374689	16.01	16.01	yes
20.5	10.64	0.001535	3900	19.296669	16.62	16.62	yes
21.5	11.56	0.001465	3900	20.218649	17.27	17.27	yes
22.5	12.48	0.001395	3900	21.14063	17.92	17.92	yes
23.5	13.4	0.001313	3900	22.06261	18.52	18.52	yes
24.5	14.32	0.00121	3900	22.98459	19.04	19.04	yes
25.5	15.25	0.001076	3900	23.906571	19.44	19.44	yes
26.5	16.17	0.000904	3900	24.828551	19.69	19.69	yes
27.5	17.09	0.000691	3900	25.750531	19.79	19.79	yes
28.5	18.01	0.000437	3900	26.672512	19.72	19.72	yes
29.5	18.93	0.00015	3900	27.594492	19.52	19.52	yes

Tabel 4. 62 Besar Defleksi pada Iterasi ke-6 pada Tiap Titik Tangkap Beban

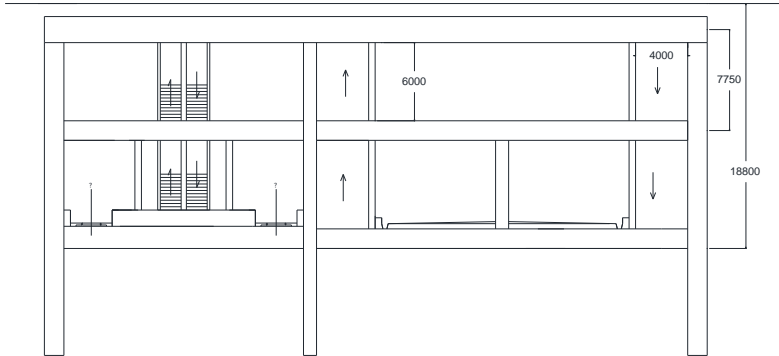
H	δ (m)	H	δ (m)
0	0	9.5	-0.0041
1	0.000896	10.5	-0.00382
2	0.00175	11.5	-0.0035
3	0.002527	12.5	-0.00315
4	0.003192	13.5	-0.00281
5	0.003717	14.5	-0.00251
6	0.004084	15.5	-0.00224
7	0.004282	16.5	-0.00202
8	0.004315	17.5	-0.00185
9	0.0042	18.5	-0.00172
10	0.003969	19.5	-0.00162
11	0.003665	20.5	-0.00154
12	0.003324	21.5	-0.00147
13	0.00298	22.5	-0.0014
14	0.002656	23.5	-0.00131
15	0.002368	24.5	-0.00121
16	0.002126	25.5	-0.00108
17	0.001931	26.5	-0.0009
18	0.001779	27.5	-0.00069
19	0.001664	28.5	-0.00044
20	0.001575	29.5	-0.00015
21	0.001501		
22	0.001433		
23	0.001358		
24	0.001266		
25	0.001149		
26	0.000997		
27	0.000805		
28	0.000571		
29	0.0003		
30	0		



Gambar 4. 28 Deformasi Tiang yang Terjadi pada Model 2

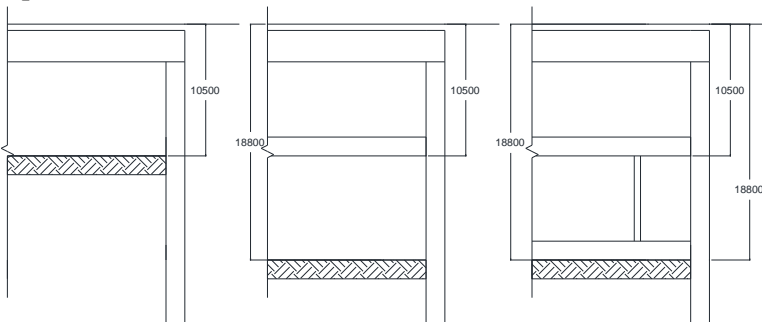
iii. Model 3

Model 3 adalah perencanaan dari *station* untuk perpindahan moda jalan raya menjadi moda jalan rel, dan sebaliknya. Di titik ini, approach jalan raya dari permukaan tanah dan jalan rel dari terowongan akan bertemu. Sehingga di titik ini sangat cocok untuk dibangun tempat perpindahan moda dan juga tempat istirahat sebelum memasuki bagian terowongan dibawah laut. Desain Stasiun dapat dilihat pada **Gambar 4.29**.



Gambar 4. 29 Desain Perencanaan *Station* Kereta Api.

Pada perencanaan ini, penggalian akan dilaksanakan hingga elevasi -18.8 meter. Metode pelaksanaannya penggalian akan dibagi menjadi 2 fase yaitu, penggalian hingga dasar lantai pertama, pada elevasi -10.5 meter, dan penggalian hingga ke dasar lantai kendaraan, pada elevasi -18.8 meter. **Gambar 4.2** akan menjelaskan proses pelaksanaan pembuatan *station* ini. Perencanaan terowongan ini akan menggunakan data tanah pada **Tabel 4.62**.



Gambar 4. 30 Proses Penggalian *Station*

Tabel 4. 63 Data Tanah untuk Desain Potongan Model 3.

Hatas	-	Hbawah	γ_{sat} (t/m ³)	C_u (t/m ²)	Φ (deg)	K_s (t/m ³)	E_s (Kpa)
0	-	2.75	1.954	3.6	0	1632	52440
2.75	-	4.75	1.591	7	0	1284	4100
4.75	-	6.75	1.646	1.1	0	1332	4100
6.75	-	8.75	1.521	1.25	0	1350	7420
8.75	-	10.75	1.660	1.7	0	1404	10740
10.75	-	12.75	1.745	3.3	0	1596	14060
12.75	-	14.75	1.717	3	0	1560	37260
14.75	-	16.75	1.642	3	0	1560	33120
16.75	-	18.75	1.718	4.5	0	1740	20700
18.75	-	20.75	1.725	5.5	0	1860	45080
20.75	-	22.75	1.908	0	34	5200	35880
22.75	-	24.75	1.918	0	32	6240	22425
24.75	-	25.5	1.742	13	0	2640	50600

- Asumsi:
- Diameter *Bored Pile*: 1.6 meter
 - Panjang kedalaman awal 75 meter
 - Kerusakan tanah akibat penggalian sedalam 1.5D
 - Beban surcharge tambahan sebesar 1.5t/m²
 - Bagian terdalam *bored pile* setelah pencarian kedalam sudah terjepit.
 - Ujung teratas *bored pile* berada pada elevasi -2.00 dari permukaan tanah.

Dengan asumsi asumsi ini, maka perhitungan untuk menentukan kedalaman dinding dapat dilakukan. untuk menentukan kedalaman tersebut, permodelan untuk mendapatkan kedalam akan dilakukan percobaan pada model terakhir. Model terakhir adalah penggalian hingga elevasi - 18.80 meter dengan 2 perletakan sendi pada elevasi -2.00 dan - 10.00. Tekanan tanah yang digunakan juga akan menggunakan pada kondisi *at-rest*. Perhitungan tekanan lateral tanah dalam kondisi *at rest* akan ditunjukkan pada **Tabel 4.64** untuk tekanan tanah di belakang dinding dan **Tabel 4.65** untuk tekanan tanah di depan dinding. Tekanan lateral tanah di depan dinding akan dimulai pada elevasi -21.00, karena adanya kerusakan tanah dibawah di sisi setebal 1.5D = ~2.4m. Selain tekanan tanah yang

membebani dinding, tekanan air pori juga membebani tiang. Besar tekanan air pori ditunjukkan oleh **Tabel 4.66**.

Tabel 4. 64 Tekanan lateral tanah *at-rest* di belakang dinding Model 3 percobaan awal

Point	H (m)	γ_{sat} (t/m ³)	σ'_z (t/m ²)	C_u (t/m ²)	Φ	K ₀	σ_h (t/m ²)
1	0	1.954	1.50	3.60	0	1	1.50
2a	2.75	1.954	4.12	3.60	0	1	4.12
2b	2.75	1.591	4.12	0.70	0	1	4.12
3a	4.75	1.591	5.30	0.70	0	1	5.30
3b	4.75	1.646	5.30	1.10	0	1	5.30
4a	6.75	1.646	6.60	1.10	0	1	6.60
4b	6.75	1.521	6.60	1.25	0	1	6.60
5a	8.75	1.521	7.64	1.25	0	1	7.64
5b	8.75	1.660	7.64	1.70	0	1	7.64
6a	10.75	1.660	8.96	1.70	0	1	8.96
6b	10.75	1.745	8.96	3.30	0	1	8.96
7a	12.75	1.745	10.45	3.30	0	1	10.45
7b	12.75	1.717	10.45	3.00	0	1	10.45
8a	14.75	1.717	11.88	3.00	0	1	11.88
8b	14.75	1.642	11.88	3.00	0	1	11.88
9a	16.75	1.642	13.17	3.00	0	1	13.17
9b	16.75	1.718	13.17	4.50	0	1	13.17
10a	18.75	1.718	14.60	4.50	0	1	14.60
10b	18.75	1.725	14.60	5.50	0	1	14.60
11a	20.75	1.725	16.05	5.50	0	1	16.05
11b	20.75	1.908	16.05	0.00	34	0.44	7.08
12a	22.75	1.908	17.87	0.00	34	0.44	7.88
12b	22.75	1.918	17.87	0.00	32	0.47	8.40
13a	24.75	1.918	19.70	0.00	32	0.47	9.26
13b	24.75	1.742	19.70	13.00	0	1.00	19.70
14	75	1.742	56.99	13.00	0	1.00	56.99

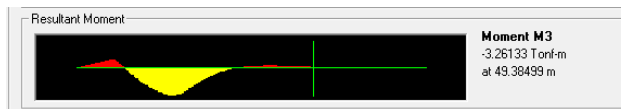
Tabel 4. 65 Tekanan lateral tanah *at-rest* di depan dinding Model 3 percobaan awal

Point	H (m)	γ_{sat} (t/m ³)	σ'_z (t/m ²)	C_u (t/m ²)	Φ	K ₀	σ_h (t/m ²)
15	0.00	1.908	0.00	0.000	34.000	0.441	0.00
16a	1.75	1.908	1.59	0.000	34.000	0.441	0.70
16b	1.75	1.918	1.59	0.000	32.000	0.470	0.75
17a	3.75	1.918	3.43	0.000	32.000	0.470	1.61
17b	3.75	1.742	3.43	13.000	0.000	1.000	3.43
18	54.00	1.742	40.71	13.000	0.000	1.000	40.71

Tabel 4. 66 Tekanan Air Pori Tanah

Point	H	σ_w (t/m ²)
1	0	0
2	18.8	18.8
3	75	0

Dengan menggunakan metode pada perhitungan sebelumnya, untuk menentukan kedalaman dari dinding yang digunakan akan dicari dari bidang momen akibat dari tekanan lateral tanah pada 3 Tabel di atas. Hasil dari perhitungan tersebut akan ditunjukkan oleh **Gambar 4.30**.



Gambar 4. 31 Hasil SAP2000.

Berdasarkan diagram bidang ini, kedalaman dari dinding station dapat diambil kurang lebih pada kedalaman 40 meter. Akan tetapi untuk angka keamanan maka kedalaman dinding dipasang pada kedalaman 55 meter. Selain itu, pada perhitungan ini tidak menunjukkan bahwa adanya sedikit perubahan pada dinding pada fase penggalian pertama dan kedua.

Pada perhitungan struktur ini fase penggalian *station* akan dibagi menjadi 2 fase. Sehingga akan dilakukan perhitungan disetiap fasenya. Pada penggalian fase kedua, hasil defleksi dari penggalian pertama akan diperhitungkan sebagai beban tambahan pada perhitungan dinding di fase kedua. Dinding akan direncanakan untuk menahan beban tanah pada proses pembuatan dan masa operasionalnya.

i. Penggalian Pertama

Penggalian pertama akan direncanakan untuk digali hingga elevasi -10.50 meter. Perhitungan tekanan lateral tanah perlu dilakukan kembali karena adanya perbedaan kedalaman dinding dan elevasi penggalian. Pada perhitungan tekanan ini, akan dihitung pula tekanan aktif minimum dan tekanan pasif maksimum. Tekanan tanah didepan dinding akan mulai diperhitungkan dibawah lapisan tanah kurang lebih $1.5D \approx 2.4$ meter, sehingga tekanan tanah di depan dinding akan dimulai pada kedalaman 13 meter. Perhitungan Tekanan Tanah *at-rest*, aktif minimum dan pasif maksimum akan ditunjukkan oleh

Tabel 4.67 untuk di sisi belakang dinding, dan **Tabel 4.68** untuk tekanan tanah di sisi depan dinding. untuk tekanan air pori yang memberikan beban pada dinding ditunjukkan oleh **Tabel 4.69**. Tekanan Air pori akan terpengaruh dari fator rembesan sehingga tidak ada tekanan air pori dasar dinding.

Tabel 4. 67 Tekanan tanah di belakang dinding pada iterasi Model 3 fase 1

Point	H (m)	ysat (t/m3)	σ'_z (t/m2)	Cu (t/m2)	Φ	K0	oh (t/m2)	ka	oh min (t/m2)	kp	oh max (t/m2)
1	0	1.954	1.50	3.60	0.00	1.00	1.50	1.00	-5.70	1.00	5.29
2a	2.75	1.954	4.12	3.60	0.00	1.00	4.12	1.00	-3.08	1.00	7.92
2b	2.75	1.591	4.12	0.70	0.00	1.00	4.12	1.00	2.72	1.00	5.80
3a	4.75	1.591	5.30	0.70	0.00	1.00	5.30	1.00	3.90	1.00	6.98
3b	4.75	1.646	5.30	1.10	0.00	1.00	5.30	1.00	3.10	1.00	7.40
4a	6.75	1.646	6.60	1.10	0.00	1.00	6.60	1.00	4.40	1.00	8.69
4b	6.75	1.521	6.60	1.25	0.00	1.00	6.60	1.00	4.10	1.00	8.83
5a	8.75	1.521	7.64	1.25	0.00	1.00	7.64	1.00	5.14	1.00	9.87
5b	8.75	1.660	7.64	1.70	0.00	1.00	7.64	1.00	4.24	1.00	10.25
6a	10.75	1.660	8.96	1.70	0.00	1.00	8.96	1.00	5.56	1.00	11.57
6b	10.75	1.745	8.96	3.30	0.00	1.00	8.96	1.00	2.36	1.00	12.59
7a	12.75	1.745	10.45	3.30	0.00	1.00	10.45	1.00	3.85	1.00	14.08
7b	12.75	1.717	10.45	3.00	0.00	1.00	10.45	1.00	4.45	1.00	13.91
8a	14.75	1.717	11.88	3.00	0.00	1.00	11.88	1.00	5.88	1.00	15.35
8b	14.75	1.642	11.88	3.00	0.00	1.00	11.88	1.00	5.88	1.00	15.35
9a	16.75	1.642	13.17	3.00	0.00	1.00	13.17	1.00	7.17	1.00	16.63
9b	16.75	1.718	13.17	4.50	0.00	1.00	13.17	1.00	4.17	1.00	17.41
10a	18.75	1.718	14.60	4.50	0.00	1.00	14.60	1.00	5.60	1.00	18.84
10b	18.75	1.725	14.60	5.50	0.00	1.00	14.60	1.00	3.60	1.00	19.29
11a	20.75	1.725	16.05	5.50	0.00	1.00	16.05	1.00	5.05	1.00	20.74
11b	20.75	1.908	16.05	0.00	34.00	0.44	7.08	0.28	4.54	3.54	56.78
12a	22.75	1.908	17.87	0.00	34.00	0.44	7.88	0.28	5.05	3.54	63.20
12b	22.75	1.918	17.87	0.00	32.00	0.47	8.40	0.31	5.49	3.25	58.15
13a	24.75	1.918	19.70	0.00	32.00	0.47	9.26	0.31	6.05	3.25	64.13
13b	24.75	1.742	19.70	13.00	0.00	1.00	19.70	1.00	-6.30	1.00	26.92
14	55	1.742	42.15	13.00	0.00	1.00	42.15	1.00	16.15	1.00	49.36

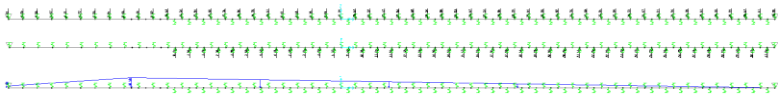
Tabel 4. 68 Tekanan tanah di depan dinding pada Iterasi Model 3 fase 1

Point	H (m)	ysat (t/m3)	σ'_z (t/m2)	Cu (t/m2)	Φ	K0	oh (t/m2)	ka	oh min (t/m2)	kp	oh max (t/m2)
1	0	1.717	0.00	3.30	0.00	1.00	0.00	1.00	-6.60	1.00	3.63
	1.75	1.717	1.25	3.00	0.00	1.00	1.25	1.00	-4.75	1.00	4.72
	1.75	1.642	1.25	3.00	0.00	1.00	1.25	1.00	-4.75	1.00	4.72
	3.75	1.642	2.54	3.00	0.00	1.00	2.54	1.00	-3.46	1.00	6.00
	3.75	1.718	2.54	4.50	0.00	1.00	2.54	1.00	-6.46	1.00	6.78
	5.75	1.718	3.97	4.50	0.00	1.00	3.97	1.00	-5.03	1.00	8.22
	5.75	1.725	3.97	5.50	0.00	1.00	3.97	1.00	-7.03	1.00	8.67
	7.75	1.725	5.42	5.50	0.00	1.00	5.42	1.00	-5.58	1.00	10.12
	7.75	1.908	5.42	0.00	34.00	0.44	2.39	0.28	1.53	3.54	19.19
	9.75	1.908	7.24	0.00	34.00	0.44	3.19	0.28	2.05	3.54	25.61
	9.75	1.918	7.24	0.00	32.00	0.47	3.40	0.31	2.22	3.25	23.57
	11.75	1.918	9.08	0.00	32.00	0.47	4.27	0.31	2.79	3.25	29.54
2a	11.75	1.742	9.08	13.00	0.00	1.00	9.08	1.00	-16.92	1.00	16.29
2b	42.00	1.742	31.52	13.00	0.00	1.00	31.52	1.00	5.52	1.00	38.73

Tabel 4. 69 Tekanan Air Pori

Point	H	ow (t/m2)
1	0	0
2	10.5	10.5
3	55	0

Seperti pada perhitungan sebelumnya, tekanan tanah akan dihitung kembali sebagai beban terpusat di tiap meternya. Perhitungan ini akan memperhitungkan batas minimum dan batas maksimum dari tekanan tanah sehingga dapat digunakan pada perhitungan setelahnya. Perhitungan beban terpusat tersebut akan ditunjukkan pada **Tabel 4.70** dan **Tabel 4.71**, untuk beban terpusat di belakang dinding dan beban di depan dinding. Beban terpusat ini akan digunakan sebagai input yang akan dicari defleksi dari tiap meter titik tangkap beban. Input yang dilakukan kedalam program bantu SAP2000 ditunjukkan oleh **Gambar 4.32**.



Gambar 4. 32 Input Pada Program Bantu SAP2000

Pada iterasi kali ini, hasil analisis yang diambil adalah defleksi dari tiang yang terjadi. Defleksi dinding ini akan menimbulkan beban tekanan tanah akan bertambah atau berkurang tergantung dari defleksi dinding. Hasil dari analisis SAP2000 ditunjukkan oleh **Tabel 4.72** yang menunjukkan deformasi dinding di titik tangkap beban terpusat.

Tabel 4. 70 Beban Terpusan
Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Pa Min	Pp Max	ks
2	3.41	-3.79	7.20	1632.0
3	4.26	1.41	6.46	1371
4	4.86	3.46	6.53	1284.0
5	5.47	3.47	7.46	1320
6	6.11	3.91	8.21	1332.0
7	6.72	4.30	8.92	1345.5
8	7.25	4.75	9.48	1350.0
9	7.81	4.63	10.32	1390.5
10	8.46	5.06	11.07	1404.0
11	9.15	3.35	12.52	1548
12	9.89	3.29	13.52	1596.0
13	10.63	4.48	14.13	1569.0
14	11.34	5.34	14.81	1560.0
15	12.04	6.04	15.50	1560.0
16	12.68	6.68	16.15	1560.0
17	13.35	5.10	17.40	1695.0
18	14.06	5.06	18.31	1740.0
19	14.78	4.28	19.36	1830.00
20	15.51	4.51	20.20	1860.00
21	9.41	4.72	48.65	4365.00
22	7.58	4.86	60.79	5200.00
23	8.38	5.45	60.16	5980.00
24	8.94	5.84	61.89	6240.00
25	17.29	-3.01	36.33	3540
26	20.63	-5.37	27.84	2640.0
27	21.37	-4.63	28.58	2640
28	22.12	-3.88	29.33	2640
29	22.86	-3.14	30.07	2640
30	23.60	-2.40	30.81	2640
31	24.34	-1.66	31.55	2640
32	25.08	-0.92	32.29	2640
33	25.83	-0.17	33.04	2640
34	26.57	0.57	33.78	2640
35	27.31	1.31	34.52	2640
36	28.05	2.05	35.26	2640
37	28.79	2.79	36.00	2640
38	29.54	3.54	36.75	2640
39	30.28	4.28	37.49	2640
40	31.02	5.02	38.23	2640
41	31.76	5.76	38.97	2640
42	32.50	6.50	39.71	2640
43	33.25	7.25	40.46	2640
44	33.99	7.99	41.20	2640
45	34.73	8.73	41.94	2640
46	35.47	9.47	42.68	2640
47	36.21	10.21	43.42	2640
48	36.96	10.96	44.17	2640
49	37.70	11.70	44.91	2640
50	38.44	12.44	45.65	2640
51	39.18	13.18	46.39	2640
52	39.92	13.92	47.13	2640
53	40.67	14.67	47.88	2640
54	41.41	15.41	48.62	2640
55	20.98	7.98	24.59	2640

Tabel 4. 71 Beban Terpusan
Tanah di Depan Dinding

H	P0	Pa Min	Pp Max	ks
13.5	0.31	-6.14	3.90	1560.0
14.5	1.04	-5.07	4.54	1560.0
15.5	1.74	-4.26	5.20	1560.0
16.5	2.38	-4.37	6.04	1605.0
17.5	3.08	-5.92	7.32	1740.0
18.5	3.80	-5.70	8.15	1770.0
19.5	4.52	-6.48	9.21	1860.0
20.5	4.47	-3.99	12.28	2695.0
21.5	2.69	1.73	21.60	5200.0
22.5	3.15	2.03	24.29	5460.0
23.5	3.73	2.44	25.81	6240.0
24.5	5.37	-2.20	25.41	5340
25.5	9.63	-16.37	16.84	2640.0
26.5	10.38	-15.62	17.59	2640.0
27.5	11.12	-14.88	18.33	2640.0
28.5	11.86	-14.14	19.07	2640.0
29.5	12.60	-13.40	19.81	2640.0
30.5	13.34	-12.66	20.55	2640.0
31.5	14.09	-11.91	21.30	2640.0
32.5	14.83	-11.17	22.04	2640.0
33.5	15.57	-10.43	22.78	2640.0
34.5	16.31	-9.69	23.52	2640.0
35.5	17.05	-8.95	24.26	2640.0
36.5	17.80	-8.20	25.01	2640.0
37.5	18.54	-7.46	25.75	2640.0
38.5	19.28	-6.72	26.49	2640.0
39.5	20.02	-5.98	27.23	2640.0
40.5	20.76	-5.24	27.97	2640.0
41.5	21.51	-4.49	28.72	2640.0
42.5	22.25	-3.75	29.46	2640.0
43.5	22.99	-3.01	30.20	2640.0
44.5	23.73	-2.27	30.94	2640.0
45.5	24.47	-1.53	31.68	2640.0
46.5	25.22	-0.78	32.43	2640.0
47.5	25.96	-0.04	33.17	2640.0
48.5	26.70	0.70	33.91	2640.0
49.5	27.44	1.44	34.65	2640.0
50.5	28.18	2.18	35.39	2640.0
51.5	28.93	2.93	36.14	2640.0
52.5	29.67	3.67	36.88	2640.0
53.5	30.41	4.41	37.62	2640.0
54.5	31.15	5.15	38.36	2640.0

Tabel 4. 72 Hasil Defleksi di Titik Tangkap Beban Tanah pada Iterasi 1

H	δ (m)	H	δ (m)
2	0	13.5	-0.005313
3	0.000798	14.5	-0.005229
4	0.001574	15.5	-0.005074
5	0.002311	16.5	-0.00486
6	0.002992	17.5	-0.0046
7	0.003602	18.5	-0.004309
8	0.00413	19.5	-0.004002
9	0.004566	20.5	-0.003697
10	0.004905	21.5	-0.003411
11	0.005143	22.5	-0.003165
12	0.005282	23.5	-0.002967
13	0.005325	24.5	-0.002822
14	0.00528	25.5	-0.002724
15	0.00516	26.5	-0.002664
16	0.004974	27.5	-0.002633
17	0.004735	28.5	-0.002624
18	0.004458	29.5	-0.00263
19	0.004157	30.5	-0.002647
20	0.003849	31.5	-0.00267
21	0.00355	32.5	-0.002696
22	0.003282	33.5	-0.002721
23	0.003059	34.5	-0.002744
24	0.002888	35.5	-0.002762
27	0.002646	38.5	-0.00277
28	0.002627	39.5	-0.002753
29	0.002626	40.5	-0.002723
30	0.002638	41.5	-0.002679
31	0.002659	42.5	-0.00262
32	0.002684	43.5	-0.002543
33	0.00271	44.5	-0.002448
34	0.002734	45.5	-0.002331
35	0.002754	46.5	-0.002191
36	0.002769	47.5	-0.002027
37	0.002777	48.5	-0.001836
38	0.002775	49.5	-0.001619
39	0.002764	50.5	-0.001375
40	0.00274	51.5	-0.001105
41	0.002704	52.5	-0.000812
42	0.002653	53.5	-0.000498
43	0.002585	54.5	-0.000169
44	0.002499		
45	0.002393		
46	0.002265		
47	0.002113		
48	0.001936		
49	0.001732		
50	0.001502		
51	0.001245		
52	0.000963		
53	0.000658		
54	0.000337		
55	0		

Dengan hasil deformasi dari **Tabel 4.72**, maka perlu dilakukan iterasi berikutnya dengan memperhitungkan faktor dari deformasi iterasi sebelumnya. Iterasi ke-2 akan mempertimbangkan deformasi dari iterasi sebelumnya dan begitu pada iterasi berikutnya. Tekanan Lateral tanah pada Iterasi ke 2 akan ditunjukkan pada **Tabel 4.73** dan **Tabel 4.74**. untuk tekanan tanah di depan dan di belakang dinding.

Tabel 4. 73 Perhitungan tekanan tanah di sisi depan dinding pada iterasi 2

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
13.5	0.3	0.0053	1560	3.9	8.60	3.90	no
14.5	1.0	0.0052	1560	4.5	9.20	4.54	no
15.5	1.7	0.0051	1560	5.2	9.65	5.20	no
16.5	2.4	0.0049	1605	6.0	10.18	6.04	no
17.5	3.1	0.0046	1740	7.3	11.08	7.32	no
18.5	3.8	0.0043	1770	8.2	11.42	8.15	no
19.5	4.5	0.0040	1860	9.2	11.96	9.21	no
20.5	4.5	0.0037	2695	12.3	14.44	12.28	no
21.5	2.7	0.0034	5200	21.6	20.43	20.43	yes
22.5	3.1	0.0032	5460	24.3	20.43	20.43	yes
23.5	3.7	0.0030	6240	25.8	22.24	22.24	yes
24.5	5.4	0.0028	5340	25.4	20.44	20.44	yes
25.5	9.6	0.0027	2640	16.8	16.82	16.82	yes
26.5	10.4	0.0027	2640	17.6	17.41	17.41	yes
27.5	11.1	0.0026	2640	18.3	18.07	18.07	yes
28.5	11.9	0.0026	2640	19.1	18.79	18.79	yes
29.5	12.6	0.0026	2640	19.8	19.54	19.54	yes
30.5	13.3	0.0026	2640	20.6	20.33	20.33	yes
31.5	14.1	0.0027	2640	21.3	21.13	21.13	yes
32.5	14.8	0.0027	2640	22.0	21.94	21.94	yes
33.5	15.6	0.0027	2640	22.8	22.75	22.75	yes
34.5	16.3	0.0027	2640	23.5	23.56	23.52	no
35.5	17.1	0.0028	2640	24.3	24.34	24.26	no
36.5	17.8	0.0028	2640	25.0	25.12	25.01	no
37.5	18.5	0.0028	2640	25.7	25.87	25.75	no
38.5	19.3	0.0028	2640	26.5	26.59	26.49	no
39.5	20.0	0.0028	2640	27.2	27.29	27.23	no
40.5	20.8	0.0027	2640	28.0	27.95	27.95	yes
41.5	21.5	0.0027	2640	28.7	28.58	28.58	yes
42.5	22.2	0.0026	2640	29.5	29.16	29.16	yes
43.5	23.0	0.0025	2640	30.2	29.70	29.70	yes
44.5	23.7	0.0024	2640	30.9	30.19	30.19	yes
45.5	24.5	0.0023	2640	31.7	30.63	30.63	yes
46.5	25.2	0.0022	2640	32.4	31.00	31.00	yes
47.5	26.0	0.0020	2640	33.2	31.31	31.31	yes
48.5	26.7	0.0018	2640	33.9	31.55	31.55	yes
49.5	27.4	0.0016	2640	34.7	31.72	31.72	yes
50.5	28.2	0.0014	2640	35.4	31.81	31.81	yes
51.5	28.9	0.0011	2640	36.1	31.84	31.84	yes
52.5	29.7	0.0008	2640	36.9	31.81	31.81	yes
53.5	30.4	0.0005	2640	37.6	31.72	31.72	yes
54.5	31.2	0.0002	2640	38.4	31.60	31.60	yes

Tabel 4. 74 Perhitungan tekanan tanah di sisi belakang dinding pada iterasi 2

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.41	0.0000	1632	0.00	3.41	3.41	yes
3	4.26	0.0008	1371	1.41	3.16	3.16	yes
4	4.86	0.0016	1284	3.46	2.84	3.46	no
5	5.47	0.0023	1320	3.47	2.42	3.47	no
6	6.11	0.0030	1332	3.91	2.13	3.91	no
7	6.72	0.0036	1346	4.30	1.88	4.30	no
8	7.25	0.0041	1350	4.75	1.67	4.75	no
9	7.81	0.0046	1391	4.63	1.46	4.63	no
10	8.46	0.0049	1404	5.06	1.58	5.06	no
11	9.15	0.0051	1548	3.35	1.19	3.35	no
12	9.89	0.0053	1596	3.29	1.46	3.29	no
13	10.63	0.0053	1569	4.48	2.27	4.48	no
14	11.34	0.0053	1560	5.34	3.11	5.34	no
15	12.04	0.0052	1560	6.04	3.99	6.04	no
16	12.68	0.0050	1560	6.68	4.93	6.68	no
17	13.35	0.0047	1695	5.10	5.32	5.32	yes
18	14.06	0.0045	1740	5.06	6.31	6.31	yes
19	14.78	0.0042	1830	4.28	7.18	7.18	yes
20	15.51	0.0038	1860	4.51	8.35	8.35	yes
21	9.41	0.0036	4365	4.72	-6.09	4.72	no
22	7.58	0.0033	5200	4.86	-9.49	4.86	no
23	8.38	0.0031	5980	5.45	-9.92	5.45	no
24	8.94	0.0029	6240	5.84	-9.08	5.84	no
25	17.29	0.0028	3540	0.00	7.49	7.49	yes
26	20.63	0.0027	2640	0.00	13.53	13.53	yes
27	21.37	0.0026	2640	0.00	14.39	14.39	yes
28	22.12	0.0026	2640	0.00	15.18	15.18	yes
29	22.86	0.0026	2640	0.00	15.93	15.93	yes
30	23.60	0.0026	2640	0.00	16.64	16.64	yes
31	24.34	0.0027	2640	0.00	17.32	17.32	yes
32	25.08	0.0027	2640	0.00	18.00	18.00	yes
33	25.83	0.0027	2640	0.00	18.67	18.67	yes
34	26.57	0.0027	2640	0.57	19.35	19.35	yes
35	27.31	0.0028	2640	1.31	20.04	20.04	yes
36	28.05	0.0028	2640	2.05	20.74	20.74	yes
37	28.79	0.0028	2640	2.79	21.46	21.46	yes
38	29.54	0.0028	2640	3.54	22.21	22.21	yes
39	30.28	0.0028	2640	4.28	22.98	22.98	yes
40	31.02	0.0027	2640	5.02	23.79	23.79	yes
41	31.76	0.0027	2640	5.76	24.62	24.62	yes
42	32.50	0.0027	2640	6.50	25.50	25.50	yes
43	33.25	0.0026	2640	7.25	26.42	26.42	yes
44	33.99	0.0025	2640	7.99	27.39	27.39	yes
45	34.73	0.0024	2640	8.73	28.41	28.41	yes
46	35.47	0.0023	2640	9.47	29.49	29.49	yes
47	36.21	0.0021	2640	10.21	30.64	30.64	yes
48	36.96	0.0019	2640	10.96	31.84	31.84	yes
49	37.70	0.0017	2640	11.70	33.13	33.13	yes
50	38.44	0.0015	2640	12.44	34.47	34.47	yes
51	39.18	0.0012	2640	13.18	35.89	35.89	yes
52	39.92	0.0010	2640	13.92	37.38	37.38	yes
53	40.67	0.0007	2640	14.67	38.93	38.93	yes
54	41.41	0.0003	2640	15.41	40.52	40.52	yes
55	20.98	0.0000	1320	7.98	20.98	20.98	yes

Proses iterasi akan berlanjut hingga tidak ada perbedaan defleksi dan beban medekati 0. Proses iterasi dapat dilihat pada Lampiran. Pada iterasi ke-5, perbedaan nilai defleksi dan beban lateral sudah 0 sehingga iterasi dapat dihentikan. Tekanan lateral tanah yang membebani dinding dapat dilihat pada **Tabel 4.75** dan, **Tabel 4.76**, sedangkan **Tabel 4.77** dan **Gambar 4.33** akan menunjukkan defleksi yang terjadi pada dinding.

Tabel 4. 75 Perhitungan tekanan tanah iterasi terakhir di depan dinding

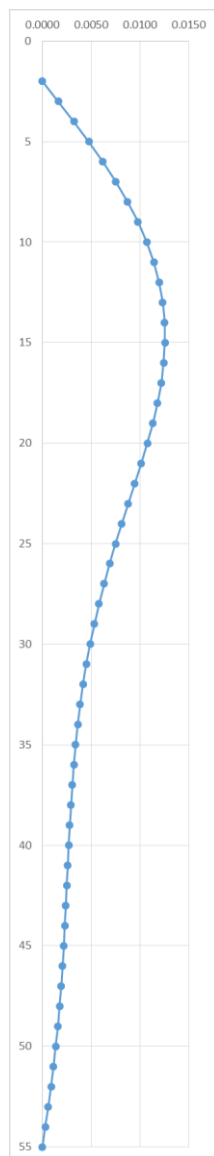
H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
13.5	0.3	0.0125	1560	3.9	19.77	3.90	no
14.5	1.0	0.0126	1560	4.5	20.67	4.54	no
15.5	1.7	0.0125	1560	5.2	21.30	5.20	no
16.5	2.4	0.0123	1605	6.0	22.20	6.04	no
17.5	3.1	0.0120	1740	7.3	24.00	7.32	no
18.5	3.8	0.0116	1770	8.2	24.30	8.15	no
19.5	4.5	0.0111	1860	9.2	25.08	9.21	no
20.5	4.5	0.0105	2695	12.3	32.66	12.28	no
21.5	2.7	0.0098	5200	21.6	53.71	21.60	no
22.5	3.1	0.0091	5460	24.3	53.07	24.29	no
23.5	3.7	0.0085	6240	25.8	56.61	25.81	no
24.5	5.4	0.0078	5340	25.4	47.12	25.41	no
25.5	9.6	0.0072	2640	16.8	28.62	16.84	no
26.5	10.4	0.0066	2640	17.6	27.81	17.59	no
27.5	11.1	0.0061	2640	18.3	27.11	18.33	no
28.5	11.9	0.0056	2640	19.1	26.53	19.07	no
29.5	12.6	0.0051	2640	19.8	26.08	19.81	no
30.5	13.3	0.0047	2640	20.6	25.75	20.55	no
31.5	14.1	0.0043	2640	21.3	25.54	21.30	no
32.5	14.8	0.0040	2640	22.0	25.45	22.04	no
33.5	15.6	0.0037	2640	22.8	25.46	22.78	no
34.5	16.3	0.0035	2640	23.5	25.58	23.52	no
35.5	17.1	0.0033	2640	24.3	25.78	24.26	no
36.5	17.8	0.0031	2640	25.0	26.07	25.01	no
37.5	18.5	0.0030	2640	25.7	26.42	25.75	no
38.5	19.3	0.0029	2640	26.5	26.82	26.49	no
39.5	20.0	0.0027	2640	27.2	27.27	27.23	no
40.5	20.8	0.0026	2640	28.0	27.74	27.74	yes
41.5	21.5	0.0025	2640	28.7	28.23	28.23	yes
42.5	22.2	0.0025	2640	29.5	28.73	28.73	yes
43.5	23.0	0.0024	2640	30.2	29.21	29.21	yes
44.5	23.7	0.0023	2640	30.9	29.68	29.68	yes
45.5	24.5	0.0021	2640	31.7	30.12	30.12	yes
46.5	25.2	0.0020	2640	32.4	30.51	30.51	yes
47.5	26.0	0.0019	2640	33.2	30.85	30.85	yes
48.5	26.7	0.0017	2640	33.9	31.14	31.14	yes
49.5	27.4	0.0015	2640	34.7	31.36	31.36	yes
50.5	28.2	0.0013	2640	35.4	31.52	31.52	yes
51.5	28.9	0.0010	2640	36.1	31.61	31.61	yes
52.5	29.7	0.0007	2640	36.9	31.64	31.64	yes
53.5	30.4	0.0005	2640	37.6	31.62	31.62	yes
54.5	31.2	0.0002	2640	38.4	31.56	31.56	yes

Tabel 4. 76 Perhitungan tekanan tanah iterasi terakhir di belakang dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.41	0.0000	1632	0.00	3.41	3.41	yes
3	4.26	0.0016	1371	1.41	2.03	2.03	yes
4	4.86	0.0032	1284	3.46	0.72	3.46	no
5	5.47	0.0048	1320	3.47	-0.82	3.47	no
6	6.11	0.0062	1332	3.91	-2.16	3.91	no
7	6.72	0.0075	1346	4.30	-3.43	4.30	no
8	7.25	0.0088	1350	4.75	-4.57	4.75	no
9	7.81	0.0098	1391	4.63	-5.84	4.63	no
10	8.46	0.0107	1404	5.06	-6.57	5.06	no
11	9.15	0.0114	1548	3.35	-8.55	3.35	no
12	9.89	0.0120	1596	3.29	-9.23	3.29	no
13	10.63	0.0124	1569	4.48	-8.75	4.48	no
14	11.34	0.0125	1560	5.34	-8.23	5.34	no
15	12.04	0.0126	1560	6.04	-7.59	6.04	no
16	12.68	0.0125	1560	6.68	-6.75	6.68	no
17	13.35	0.0122	1695	5.10	-7.33	5.10	no
18	14.06	0.0118	1740	5.06	-6.50	5.06	no
19	14.78	0.0113	1830	4.28	-5.95	4.28	no
20	15.51	0.0108	1860	4.51	-4.51	4.51	no
21	9.41	0.0101	4365	4.72	-34.85	4.72	no
22	7.58	0.0095	5200	4.86	-41.72	4.86	no
23	8.38	0.0088	5980	5.45	-44.29	5.45	no
24	8.94	0.0081	6240	5.84	-41.88	5.84	no
25	17.29	0.0075	3540	0.00	-9.27	0.00	no
26	20.63	0.0069	2640	0.00	2.43	2.43	yes
27	21.37	0.0063	2640	0.00	4.67	4.67	yes
28	22.12	0.0058	2640	0.00	6.80	6.80	yes
29	22.86	0.0053	2640	0.00	8.80	8.80	yes
30	23.60	0.0049	2640	0.00	10.68	10.68	yes
31	24.34	0.0045	2640	0.00	12.43	12.43	yes
32	25.08	0.0042	2640	0.00	14.06	14.06	yes
33	25.83	0.0039	2640	0.00	15.58	15.58	yes
34	26.57	0.0036	2640	0.57	17.00	17.00	yes
35	27.31	0.0034	2640	1.31	18.32	18.32	yes
36	28.05	0.0032	2640	2.05	19.56	19.56	yes
37	28.79	0.0031	2640	2.79	20.72	20.72	yes
38	29.54	0.0029	2640	3.54	21.83	21.83	yes
39	30.28	0.0028	2640	4.28	22.89	22.89	yes
40	31.02	0.0027	2640	5.02	23.91	23.91	yes
41	31.76	0.0026	2640	5.76	24.91	24.91	yes
42	32.50	0.0025	2640	6.50	25.90	25.90	yes
43	33.25	0.0024	2640	7.25	26.89	26.89	yes
44	33.99	0.0023	2640	7.99	27.89	27.89	yes
45	34.73	0.0022	2640	8.73	28.92	28.92	yes
46	35.47	0.0021	2640	9.47	29.99	29.99	yes
47	36.21	0.0019	2640	10.21	31.11	31.11	yes
48	36.96	0.0018	2640	10.96	32.27	32.27	yes
49	37.70	0.0016	2640	11.70	33.51	33.51	yes
50	38.44	0.0014	2640	12.44	34.80	34.80	yes
51	39.18	0.0011	2640	13.18	36.16	36.16	yes
52	39.92	0.0009	2640	13.92	37.58	37.58	yes
53	40.67	0.0006	2640	14.67	39.06	39.06	yes
54	41.41	0.0003	2640	15.41	40.58	40.58	yes
55	20.98	0.0000	1320	7.98	20.98	20.98	yes

Tabel 4. 77 Defleksi tiang di iterasi terakhir

H	δ (m)	H	δ (m)
2	0.0000	13.5	-0.0125
3	0.0016	14.5	-0.0126
4	0.0032	15.5	-0.0125
5	0.0048	16.5	-0.0123
6	0.0062	17.5	-0.0120
7	0.0075	18.5	-0.0116
8	0.0088	19.5	-0.0111
9	0.0098	20.5	-0.0105
10	0.0107	21.5	-0.0098
11	0.0114	22.5	-0.0091
12	0.0120	23.5	-0.0085
13	0.0124	24.5	-0.0078
14	0.0125	25.5	-0.0072
15	0.0126	26.5	-0.0066
16	0.0125	27.5	-0.0061
17	0.0122	28.5	-0.0056
18	0.0118	29.5	-0.0051
19	0.0113	30.5	-0.0047
20	0.0108	31.5	-0.0043
21	0.0101	32.5	-0.0040
22	0.0095	33.5	-0.0037
23	0.0088	34.5	-0.0035
24	0.0081	35.5	-0.0033
25	0.0075	36.5	-0.0031
26	0.0069	37.5	-0.0030
27	0.0063	38.5	-0.0029
28	0.0058	39.5	-0.0027
29	0.0053	40.5	-0.0026
30	0.0049	41.5	-0.0025
31	0.0045	42.5	-0.0025
32	0.0042	43.5	-0.0024
33	0.0039	44.5	-0.0023
34	0.0036	45.5	-0.0021
35	0.0034	46.5	-0.0020
36	0.0032	47.5	-0.0019
37	0.0031	48.5	-0.0017
38	0.0029	49.5	-0.0015
39	0.0028	50.5	-0.0013
40	0.0027	51.5	-0.0010
41	0.0026	52.5	-0.0007
42	0.0025	53.5	-0.0005
43	0.0024	54.5	-0.0002
44	0.0023		
45	0.0022		
46	0.0021		
47	0.0019		
48	0.0018		
49	0.0016		
50	0.0014		
51	0.0011		
52	0.0009		
53	0.0006		
54	0.0003		
55	0.0000		



Gambar 4. 33 Defleksi tiang pada akhir iterasi

ii. Penggalian Kedua

Setelah penggalian pertama selesai, pelat lantai akan dibangun sebelum melakukan penggalian kedua. Lantai kendaraan akan menjadi stud/penahan dari dinding pada saat penggalian fase ke 2 dilakukan. Sehingga pada perencanaan dari penggalian fase kedua akan mempertimbangkan deformasi dari fase pertama dan penambahan stud karena adanya pelat lantai.

Penggalian kedua akan dimulai pada setelah pelat lantai cukup kuat untuk menahan beban sendiri, dan tekanan lateral tanah. Penggalian kedua akan dimulai pada elevasi -10.50 hingga elevasi -18.80 meter. Tekanan tanah di depan tanah dan tekanan air pori juga akan berubah pula. **Tabel 4.78** akan menunjukkan besar tekanan tanah yang terjadi sedangkan **Tabel 4.79** menunjukkan perubahan dari tekanan air pori yang terjadi. Tekanan tanah di belakang dinding tidak berubah karena tidak ada perubahan elevasi tanah dibelakang dinding seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.69** dan **Tabel 4.72**. Seperti pada perhitungan sebelumnya, tekanan tanah dijadikan beban terpusat tiap meternya seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.80**.

Tabel 4. 78 Tekanan tanah di depan dinding pada Model 3 fase 2

Point	H (m)	γ_{sat} (t/m ³)	σ'_z (t/m ²)	C_u (t/m ²)	Φ	K ₀	σ_h (t/m ²)	k_a	σ_h min (t/m ²)	k_p	σ_h max (t/m ²)
15	0.00	1.908	0.00	5.500	0.000	1.00	0.00	1.00	-11.00	1.00	4.69
16a	1.75	1.908	1.59	0.000	34.000	0.44	0.70	0.28	0.45	3.54	5.62
16b	1.75	1.918	1.59	0.000	32.000	0.47	0.75	0.31	0.49	3.25	5.17
17a	3.75	1.918	3.43	0.000	32.000	0.47	1.61	0.31	1.05	3.25	11.15
17b	3.75	1.742	3.43	13.000	0.000	1.00	3.43	1.00	-22.58	1.00	10.64
18	34.00	1.742	25.87	13.000	0.000	1.00	25.87	1.00	-0.13	1.00	33.08

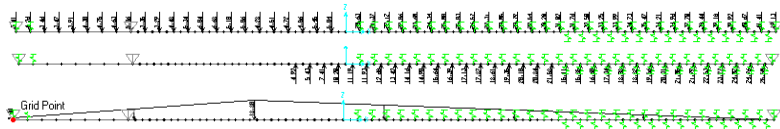
Tabel 4. 79 Tekanan air pori pada Model 3 fase 2

Point	H	σ_w (t/m ²)
1	0	0
2	18.8	18.8
3	55	0

Tabel 4. 80 Gaya lateral tanah di depan dinding pada Model 3 fase 2

H	At Rest	Active	Passive	ks
	P0	Pa Min	Pp Max	
21.5	0.18	-8.14	4.92	5200.0
22.5	0.59	-1.68	5.43	5460.0
23.5	1.07	0.70	7.41	6240.0
24.5	1.97	-4.91	10.20	5340
25.5	3.98	-22.02	11.19	2640.0
26.5	4.72	-21.28	11.93	2640.0
27.5	5.47	-20.53	12.68	2640.0
28.5	6.21	-19.79	13.42	2640.0
29.5	6.95	-19.05	14.16	2640.0
30.5	7.69	-18.31	14.90	2640.0
31.5	8.43	-17.57	15.64	2640.0
32.5	9.18	-16.82	16.39	2640.0
33.5	9.92	-16.08	17.13	2640.0
34.5	10.66	-15.34	17.87	2640.0
35.5	11.40	-14.60	18.61	2640.0
36.5	12.14	-13.86	19.35	2640.0
37.5	12.89	-13.11	20.10	2640.0
38.5	13.63	-12.37	20.84	2640.0
39.5	14.37	-11.63	21.58	2640.0
40.5	15.11	-10.89	22.32	2640.0
41.5	15.85	-10.15	23.06	2640.0
42.5	16.60	-9.40	23.81	2640.0
43.5	17.34	-8.66	24.55	2640.0
44.5	18.08	-7.92	25.29	2640.0
45.5	18.82	-7.18	26.03	2640.0
46.5	19.56	-6.44	26.77	2640.0
47.5	20.31	-5.69	27.52	2640.0
48.5	21.05	-4.95	28.26	2640.0
49.5	21.79	-4.21	29.00	2640.0
50.5	22.53	-3.47	29.74	2640.0
51.5	23.27	-2.73	30.48	2640.0
52.5	24.02	-1.98	31.23	2640.0
53.5	24.76	-1.24	31.97	2640.0
54.5	25.50	-0.50	32.71	2640.0

Dengan adanya beban terpusat dari 2 sisi dinding, analisis dinding dapat dilakukan. Pada analisis iterasi pertama pergerakan dinding akhir di penggalian pertama fase terakhir akan dimasukkan sebagai beban. Analisis beban terpusat yang terjadi pada iterasi pertama dilihat pada **Tabel 4.81** dan **Tabel 4.82** untuk beban di sisi belakang dan depan dinding. Kemudian Beban tersebut akan dimasukkan kedalam program bantu SAP2000 seperti pada **Gambar 4.34**.

**Gambar 4. 34** Input Beban Lateral dan Tekanan Air di SAP2000

Tabel 4. 81 Beban Terpusat Tanah Lateral di Belakang Dinding pada Iterasi 1

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.41	0.0000	1632.0	0.0	3.41	3.41	yes
3	4.26	0.0016	1371.0	1.4	2.03	2.03	yes
4	4.86	0.0032	1284.0	3.5	0.72	3.46	no
5	5.47	0.0048	1320.0	3.5	-0.82	3.47	no
6	6.11	0.0062	1332.0	3.9	-2.16	3.91	no
7	6.72	0.0075	1345.5	4.3	-3.43	4.30	no
8	7.25	0.0088	1350.0	4.7	-4.57	4.75	no
9	7.81	0.0098	1390.5	4.6	-5.84	4.63	no
10	8.46	0.0107	1404.0	5.1	-6.57	5.06	no
11	9.15	0.0114	1548.0	3.3	-8.55	3.35	no
12	9.89	0.0120	1596.0	3.3	-9.23	3.29	no
13	10.63	0.0124	1569.0	4.5	-8.75	4.48	no
14	11.34	0.0125	1560.0	5.3	-8.23	5.34	no
15	12.04	0.0126	1560.0	6.0	-7.59	6.04	no
16	12.68	0.0125	1560.0	6.7	-6.75	6.68	no
17	13.35	0.0122	1695.0	5.1	-7.33	5.10	no
18	14.06	0.0118	1740.0	5.1	-6.50	5.06	no
19	14.78	0.0113	1830.0	4.3	-5.95	4.28	no
20	15.51	0.0108	1860.0	4.5	-4.51	4.51	no
21	9.41	0.0101	4365.0	4.7	-34.85	4.72	no
22	7.58	0.0095	5200.0	4.9	-41.72	4.86	no
23	8.38	0.0088	5980.0	5.5	-44.30	5.45	no
24	8.94	0.0081	6240.0	5.8	-41.88	5.84	no
25	17.29	0.0075	3540.0	0.0	-9.27	0.00	no
26	20.63	0.0069	2640.0	0.0	2.43	2.43	yes
27	21.37	0.0063	2640.0	0.0	4.67	4.67	yes
28	22.12	0.0058	2640.0	0.0	6.80	6.80	yes
29	22.86	0.0053	2640.0	0.0	8.80	8.80	yes
30	23.60	0.0049	2640.0	0.0	10.67	10.67	yes
31	24.34	0.0045	2640.0	0.0	12.43	12.43	yes
32	25.08	0.0042	2640.0	0.0	14.06	14.06	yes
33	25.83	0.0039	2640.0	0.0	15.58	15.58	yes
34	26.57	0.0036	2640.0	0.6	17.00	17.00	yes
35	27.31	0.0034	2640.0	1.3	18.32	18.32	yes
36	28.05	0.0032	2640.0	2.1	19.56	19.56	yes
37	28.79	0.0031	2640.0	2.8	20.72	20.72	yes
38	29.54	0.0029	2640.0	3.5	21.83	21.83	yes
39	30.28	0.0028	2640.0	4.3	22.89	22.89	yes
40	31.02	0.0027	2640.0	5.0	23.91	23.91	yes
41	31.76	0.0026	2640.0	5.8	24.91	24.91	yes
42	32.50	0.0025	2640.0	6.5	25.90	25.90	yes
43	33.25	0.0024	2640.0	7.2	26.89	26.89	yes
44	33.99	0.0023	2640.0	8.0	27.89	27.89	yes
45	34.73	0.0022	2641.0	8.7	28.92	28.92	yes
46	35.47	0.0021	2642.0	9.5	29.99	29.99	yes
47	36.21	0.0019	2643.0	10.2	31.10	31.10	yes
48	36.96	0.0018	2644.0	11.0	32.27	32.27	yes
49	37.70	0.0016	2645.0	11.7	33.50	33.50	yes
50	38.44	0.0014	2646.0	12.4	34.79	34.79	yes
51	39.18	0.0011	2647.0	13.2	36.15	36.15	yes
52	39.92	0.0009	2648.0	13.9	37.57	37.57	yes
53	40.67	0.0006	2649.0	14.7	39.06	39.06	yes
54	41.41	0.0003	2650.0	15.4	40.58	40.58	yes
55	19.13	0.0000	1320.0	6.1	19.13	19.13	yes

Tabel 4. 82 Beban Terpusat Tanah Lateral di Depan Dinding pada Iterasi 1

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
21.5	0.18	0.0098	5200.0	4.92	51.20	4.92	no
22.5	0.59	0.0091	5460.0	5.43	50.52	5.43	no
23.5	1.07	0.0085	6240.0	7.41	53.95	7.41	no
24.5	1.97	0.0078	5340.0	10.20	43.72	10.20	no
25.5	3.98	0.0072	2640.0	11.19	22.97	11.19	no
26.5	4.72	0.0066	2640.0	11.93	22.16	11.93	no
27.5	5.47	0.0061	2640.0	12.68	21.46	12.68	no
28.5	6.21	0.0056	2640.0	13.42	20.88	13.42	no
29.5	6.95	0.0051	2640.0	14.16	20.42	14.16	no
30.5	7.69	0.0047	2640.0	14.90	20.09	14.90	no
31.5	8.43	0.0043	2640.0	15.64	19.89	15.64	no
32.5	9.18	0.0040	2640.0	16.39	19.80	16.39	no
33.5	9.92	0.0037	2640.0	17.13	19.81	17.13	no
34.5	10.66	0.0035	2640.0	17.87	19.93	17.87	no
35.5	11.40	0.0033	2640.0	18.61	20.13	18.61	no
36.5	12.14	0.0031	2640.0	19.35	20.42	19.35	no
37.5	12.89	0.0030	2640.0	20.10	20.77	20.10	no
38.5	13.63	0.0029	2640.0	20.84	21.17	20.84	no
39.5	14.37	0.0027	2640.0	21.58	21.62	21.58	no
40.5	15.11	0.0026	2640.0	22.32	22.09	22.09	yes
41.5	15.85	0.0025	2640.0	23.06	22.58	22.58	yes
42.5	16.60	0.0025	2640.0	23.81	23.08	23.08	yes
43.5	17.34	0.0024	2640.0	24.55	23.57	23.57	yes
44.5	18.08	0.0023	2640.0	25.29	24.03	24.03	yes
45.5	18.82	0.0021	2640.0	26.03	24.47	24.47	yes
46.5	19.56	0.0020	2640.0	26.77	24.86	24.86	yes
47.5	20.31	0.0019	2640.0	27.52	25.21	25.21	yes
48.5	21.05	0.0017	2640.0	28.26	25.49	25.49	yes
49.5	21.79	0.0015	2640.0	29.00	25.71	25.71	yes
50.5	22.53	0.0013	2640.0	29.74	25.87	25.87	yes
51.5	23.27	0.0010	2640.0	30.48	25.96	25.96	yes
52.5	24.02	0.0007	2640.0	31.23	25.99	25.99	yes
53.5	24.76	0.0005	2640.0	31.97	25.97	25.97	yes
54.5	25.50	0.0002	2640.0	32.71	25.91	25.91	yes

Hasil yang diambil pada proses iterasi ini adalah besar defleksi dari tiap titik tangkap beban terpusat yang ada. Hasil defleksi ini akan mempengaruhi apakah spring tanah di titik tersebut masih berkerja atau tidak, serta akan mempengaruhi besar tekanan tanah aktif dan pasifnya. Hasil dari defleksi pada Iterasi ini ditunjukkan oleh **Tabel 4.83**.

Tabel 4. 83 Defleksi yang Terjadi pada Dinding pada Iterasi 1

H	Deform	H	Deform
2	0	21.5	-0.019425
3	0.001399	22.5	-0.019422
4	0.002789	23.5	-0.019302
5	0.004167	24.5	-0.019074
6	0.005525	25.5	-0.018751
7	0.006861	26.5	-0.018345
8	0.00817	27.5	-0.017871
9	0.009452	28.5	-0.01734
10	0.010707	29.5	-0.016763
11	0.01195	30.5	-0.016149
12	0.013146	31.5	-0.015507
13	0.014277	32.5	-0.014845
14	0.015324	33.5	-0.014169
15	0.016273	34.5	-0.013485
16	0.017111	35.5	-0.012797
17	0.017828	36.5	-0.012109
18	0.018416	37.5	-0.011425
19	0.018871	38.5	-0.010746
20	0.019192	39.5	-0.010075
21	0.01938	40.5	-0.009413
22	0.019439	41.5	-0.008762
23	0.019376	42.5	-0.008122
24	0.019201	43.5	-0.00749
25	0.018924	44.5	-0.006866
26	0.018557	45.5	-0.006245
27	0.018116	46.5	-0.005624
28	0.017612	47.5	-0.004999
29	0.017057	48.5	-0.004369
30	0.01646	49.5	-0.003729
31	0.015831	50.5	-0.003078
32	0.015178	51.5	-0.002414
33	0.014508	52.5	-0.001738
34	0.013828	53.5	-0.00105
35	0.013141	54.5	-0.000353
36	0.012453		
37	0.011767		
38	0.011085		
39	0.01041		
40	0.009743		
41	0.009087		
42	0.008441		
43	0.007806		
44	0.007178		
45	0.006556		
46	0.005935		
47	0.005313		
48	0.004686		
49	0.004051		
50	0.003405		
51	0.002748		
52	0.002078		
53	0.001396		
54	0.000704		
55	0		

Dengan hasil di atas, proses perhitungan untuk iterasi berikutnya dapat dilakukan. akan tetapi untuk iterasi berikutnya, besar deformasi dinding tidak diubah/ sama seperti hasil akhir dari deformasi dinding pada fase pertama. Iterasi dilakukan sebanyak 5 kali untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Hasil dari iterasi terakhir akan ditunjukkan oleh **Tabel 4.84**, **Tabel 4.85** untuk besar beban terpusat yang menjadi beban dinding, dan **Tabel 4.86** dan **Gambar 4.35** menunjukkan bentuk defleksi dinding setelah penggalian kedua selesai. Defleksi maksimum dinding masih lebih kecil dari batas maksimum yang telah ditentukan diawal.

Tabel 4. 84 Besar Tekanan Tanah di Depan Dinding pada Akhir Iterasi

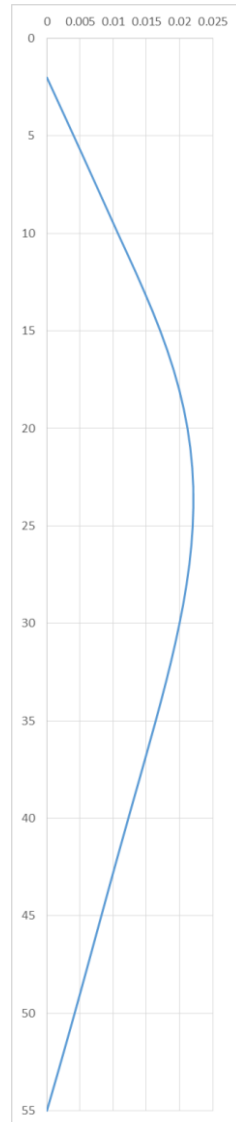
H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
21.5	0.2	0.0220	5200.0	4.9	114.56	4.92	no
22.5	0.6	0.0221	5460.0	5.4	121.18	5.43	no
23.5	1.1	0.0220	6240.0	7.4	138.66	7.41	no
24.5	2.0	0.0219	5340.0	10.2	118.87	10.20	no
25.5	4.0	0.0216	2640.0	11.2	61.08	11.19	no
26.5	4.7	0.0213	2640.0	11.9	60.87	11.93	no
27.5	5.5	0.0208	2640.0	12.7	60.42	12.68	no
28.5	6.2	0.0203	2640.0	13.4	59.76	13.42	no
29.5	6.9	0.0197	2640.0	14.2	58.93	14.16	no
30.5	7.7	0.0190	2640.0	14.9	57.93	14.90	no
31.5	8.4	0.0183	2640.0	15.6	56.81	15.64	no
32.5	9.2	0.0176	2640.0	16.4	55.58	16.39	no
33.5	9.9	0.0168	2640.0	17.1	54.27	17.13	no
34.5	10.7	0.0160	2640.0	17.9	52.90	17.87	no
35.5	11.4	0.0152	2640.0	18.6	51.48	18.61	no
36.5	12.1	0.0144	2640.0	19.4	50.04	19.35	no
37.5	12.9	0.0135	2640.0	20.1	48.59	20.10	no
38.5	13.6	0.0127	2640.0	20.8	47.14	20.84	no
39.5	14.4	0.0119	2640.0	21.6	45.70	21.58	no
40.5	15.1	0.0110	2640.0	22.3	44.27	22.32	no
41.5	15.9	0.0102	2640.0	23.1	42.86	23.06	no
42.5	16.6	0.0094	2640.0	23.8	41.46	23.81	no
43.5	17.3	0.0086	2640.0	24.5	40.08	24.55	no
44.5	18.1	0.0078	2640.0	25.3	38.70	25.29	no
45.5	18.8	0.0070	2640.0	26.0	37.33	26.03	no
46.5	19.6	0.0062	2640.0	26.8	35.96	26.77	no
47.5	20.3	0.0054	2640.0	27.5	34.57	27.52	no
48.5	21.0	0.0046	2640.0	28.3	33.17	28.26	no
49.5	21.8	0.0038	2640.0	29.0	31.76	29.00	no
50.5	22.5	0.0030	2640.0	29.7	30.32	29.74	no
51.5	23.3	0.0021	2640.0	30.5	28.87	28.87	yes
52.5	24.0	0.0013	2640.0	31.2	27.38	27.38	yes
53.5	24.8	0.0004	2640.0	32.0	25.88	25.88	yes
54.5	25.5	0.0000	2640.0	32.7	25.50	25.50	yes

Tabel 4. 85 Besar Tekanan Tanah di Belakang Dinding pada Akhir Iterasi

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.4071	0	1632	0	3.41	3.41	yes
3	4.2586	0.001354	1371	1.4086382	2.40	2.40	yes
4	4.861	0.002705	1284	3.4609674	1.39	3.46	no
5	5.4674	0.004051	1320	3.4674361	0.12	3.47	no
6	6.1117	0.005391	1332	3.9117174	-1.07	3.91	no
7	6.7226	0.006724	1345.5	4.2975611	-2.32	4.30	no
8	7.2475	0.008052	1350	4.7474674	-3.62	4.75	no
9	7.8076	0.009379	1390.5	4.6325611	-5.23	4.63	no
10	8.4632	0.010707	1404	5.0632174	-6.57	5.06	no
11	9.1471	0.012062	1548	3.3471236	-9.52	3.35	no
12	9.8895	0.0134	1596	3.2894674	-11.50	3.29	no
13	10.627	0.014698	1569	4.4765924	-12.43	4.48	no
14	11.344	0.015936	1560	5.3444674	-13.52	5.34	no
15	12.04	0.017093	1560	6.0403736	-14.62	6.04	no
16	12.685	0.018153	1560	6.6847174	-15.63	6.68	no
17	13.348	0.019103	1695	5.0980924	-19.03	5.10	no
18	14.064	0.019931	1740	5.0637174	-20.62	5.06	no
19	14.784	0.02063	1830	4.2836861	-22.97	4.28	no
20	15.508	0.021192	1860	4.5084674	-23.91	4.51	no
21	9.4099	0.021617	4365	4.7162474	-84.95	4.72	no
22	7.5762	0.021905	5200	4.8590828	-106.33	4.86	no
23	8.3776	0.022059	5980	5.4518328	-123.54	5.45	no
24	8.9389	0.022083	6240	5.8427413	-128.86	5.84	no
25	17.289	0.021985	3540	0	-60.54	0.00	no
26	20.632	0.021775	2640	0	-36.85	0.00	no
27	21.374	0.021461	2640	0	-35.28	0.00	no
28	22.116	0.021053	2640	0	-33.46	0.00	no
29	22.858	0.020561	2640	0	-31.42	0.00	no
30	23.6	0.019995	2640	0	-29.19	0.00	no
31	24.342	0.019366	2640	0	-26.78	0.00	no
32	25.084	0.018682	2640	0	-24.24	0.00	no
33	25.826	0.017955	2640	0	-21.58	0.00	no
34	26.568	0.017192	2640	0.5677174	-18.82	0.57	no
35	27.31	0.016402	2640	1.3097174	-15.99	1.31	no
36	28.052	0.015592	2640	2.0517174	-13.11	2.05	no
37	28.794	0.01477	2640	2.7937174	-10.20	2.79	no
38	29.536	0.01394	2640	3.5357174	-7.27	3.54	no
39	30.278	0.013109	2640	4.2777174	-4.33	4.28	no
40	31.02	0.012279	2640	5.0197174	-1.40	5.02	no
41	31.762	0.011454	2640	5.7617174	1.52	5.76	no
42	32.504	0.010635	2640	6.5037174	4.43	6.50	no
43	33.246	0.009823	2640	7.2457174	7.31	7.31	yes
44	33.988	0.009016	2640	7.9877174	10.19	10.19	yes
45	34.73	0.008213	2641	8.7297174	13.04	13.04	yes
46	35.472	0.007412	2642	9.4717174	15.89	15.89	yes
47	36.214	0.006611	2643	10.213717	18.74	18.74	yes
48	36.956	0.005807	2644	10.955717	21.60	21.60	yes
49	37.698	0.005	2645	11.697717	24.47	24.47	yes
50	38.44	0.004186	2646	12.439717	27.36	27.36	yes
51	39.182	0.003365	2647	13.181717	30.27	30.27	yes
52	39.924	0.002536	2648	13.923717	33.21	33.21	yes
53	40.666	0.001699	2649	14.665717	36.17	36.17	yes
54	41.408	0.000854	2650	15.407717	39.14	39.14	yes
55	19.127	0	1320	6.1271087	19.13	19.13	yes

Tabel 4. 86 Defleksi Dinding pada Akhir Penggalan

H	δ (m)	H
2	0	21.5
3	0.0014	22.5
4	0.0027	23.5
5	0.0041	24.5
6	0.0054	25.5
7	0.0067	26.5
8	0.0081	27.5
9	0.0094	28.5
10	0.0107	29.5
11	0.0121	30.5
12	0.0134	31.5
13	0.0147	32.5
14	0.0159	33.5
15	0.0171	34.5
16	0.0182	35.5
17	0.0191	36.5
18	0.0199	37.5
19	0.0206	38.5
20	0.0212	39.5
21	0.0216	40.5
22	0.0219	41.5
23	0.0221	42.5
24	0.0221	43.5
25	0.0220	44.5
26	0.0218	45.5
27	0.0215	46.5
28	0.0211	47.5
29	0.0206	48.5
30	0.0200	49.5
31	0.0194	50.5
32	0.0187	51.5
33	0.0180	52.5
34	0.0172	53.5
35	0.0164	54.5
36	0.0156	
37	0.0148	
38	0.0139	
39	0.0131	
40	0.0123	
41	0.0115	
42	0.0106	
43	0.0098	
44	0.0090	
45	0.0082	
46	0.0074	
47	0.0066	
48	0.0058	
49	0.0050	
50	0.0042	
51	0.0034	
52	0.0025	
53	0.0017	
54	0.0009	
55	0	



Gambar 4. 35 Defleksi Akhir Dinding pada Akhir Penggalan

d. Perhitungan Tulangan Komponen *Approach*

Seperti yang direncanakan seluruh bagian dari *approach* terowongan akan terbuat dari material beton. Beton adalah material yang kuat untuk menahan beban tekan akan tetapi tidak cukup kuat untuk menahan beban tarik. Salah satu yang membantu agar beton dapat menahan beban tarik tersebut adalah tulangan beton, yang nantinya akan berkerja bersama sama membentuk struktur beton bertulang.

Tiga model yang telah diperhitungkan di atas, memiliki banyak sekali komponen yang menerima beban yang menimbulkan momen. Salah satu yang menerima beban momen adalah komponen dinding yang terbuat dari *bored pile*. Dimana *bored pile* akan menerima beban tekanan lateral tanah yang cukup besar dari belakang dinding. Selain itu, komponen yang diperlukan menahan beban momen dan tekanan yang lainnya adalah struktur pelat kendaraan.

Hanya pada model ke-3, pelat kendaraan akan membantu menahan dinding. Pada model ini setelah pelat kendaraan dibangun, tanah dibawah lantai tersebut akan digali lagi lagi, sehingga pelat ini akan membantu menahan beban tekanan tanah yang diterima oleh dinding. Sedangkan pada model lainnya, lantai kendaraan yang berada di atas tanah yang telah digali akan menerima tekanan angkat air pada kondisi hidrstatik. Pelat kendaraan di atas tanah yang digali juga tidak akan menerima beban tekanan lateral dari tanah maupun dari air pori.

Dengan ini, maka struktur dari tiap model *approach* akan dapat direncanakan struktur dan penulangannya. Beban angkat air akan dikurangi dengan berat pelat itu sendiri pada saat momen yang terjadi pada pelat akan dikalkulasikan. Pada perhitungan penulangan besar momen terjadi akan dibesarkan sebesar 0.9 untuk pelat dan 0.75 untuk *bored pile*.

i. Model 1

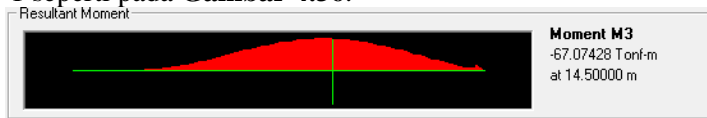
Pada *approach* model 1 ini, akan ada 2 komponen struktur yang akan direncanakan penulangannya. 2 komponen tersebut adalah dinding *bored pile*, dan pelat lantai bawah. *Preliminary*

design untuk dimensi struktur pada model 1 akan ditunjukkan oleh **Tabel 4.87**.

Tabel 4. 87 Preliminary Design untuk Model 1

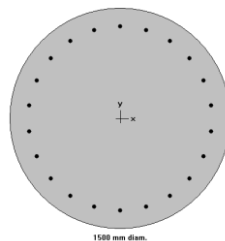
Komponen	Tebal (m)	Deiiameter (m)
Pelat Bawah	1	-
Bored Pile	-	1.5

Pada perhitungan sebelumnya, dinding pada model 1 akan menahan beban tekanan lateral tanah, dan tekan air pori yang menyebabkan dinding terguling. Dari seluruh rangkaian perhitungan sebelumnya, salah satu hasil SAP2000 yang dapat diambil untuk perhitungan tulangan pada *bored pile* adalah hasil bidang momen. Bidang momen dari *bored pile* pada model 1 seperti pada **Gambar 4.36**.



Gambar 4. 36 Bidang Momen pada Dinding Model 1

Untuk membantu perhitungan perencanaan tulangan *bored pile*, program SpColoumn akan digunakan. Program ini akan membantu menentukan banyak tulangan serta juga memberikan bentuk diagram iterasi antara P-M. Dengan input momen yang didapatkan pada perhitungan sebelumnya. Hasil *output* dari SP coloumn ditunjukkan oleh **Gambar 4.37**, tulangan yang digunakan adalah 22D32



Gambar 4. 37 Hasil akhir spColoumn untuk Analisis Penulangan *Bored Pile*

Dapat dilihat pada kalkulasi sebelumnya, besar defleksi dinding cukup besar. Untuk menghindari crack yang dapat

menyebabkan air tanah masuk kedalam dinding dan menyebabkan tulangan beton terkorosi, maka perlu diperhitungkan kontrol besar material dan penampang untuk menahan retak. Besar dari momen retak penampang adalah:

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t}$$

$$f_r = 0.62 \lambda \sqrt{f'c} = 0.62 \sqrt{50} = 4.38 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = \frac{4.38 \times 0.2485 \times 10^{12}}{750} = 1.45 \times 10^9 \text{ Nmm}$$

$$\approx 145.124 \text{ tm} > 67.074 \text{ tm} \quad (\text{ok})$$

Untuk desain penulangan pada pelat lantai kendaraan harus diketahui beban yang akan terjadi. Pelat lantai kendaraan direncanakan menggunakan tebal pelat setebal 1 meter. Seperti pada penjelasan pada BAB 2, beban yang mendorong pelat lantai adalah beban angkat air. Gaya angkat air baru terjadi pada saat air tanah di daerah penggalian ini telah kembali hidrostatik. Artinya besar dari gaya angkat tersebut adalah perbedaan tinggi antara muka air dibelakang dinding dan dibawah pelat. Pada model ini, tinggi muka air tanah adalah 6meter. Besar gaya yang terjadi adalah

$$F = 6m \times 1t/m^3 = 6t/m^2$$

Keadaan paling kritis dari pelat lantai bawah adalah pada saat terowongan tidak dilalui oleh kendaraan apapun, sehingga seluruh gaya angkat air akan diterima seluruhnya oleh pelat lantai. Beban yang mempengaruhi besar dari momen pelat adalah beban angkat air dan beban sendiri dari pelat. Dengan asumsi hubungan antara pelat dan dinding tidak terjepit dengan sempurna maka besar momen maksimum yang terjadi pada pelat adalah sebesar

$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2 = \frac{1}{8} \times (6 - 2.4) \times 19^2 = 162.45 \text{ t.m/m'}$$

Dengan besar momen telah dihitung, penulangan pelat dapat diperhitungkan. Parameter mutu beton, tulangan, dimesi pelat

dan besar tulangan yang digunakan dapat dilihat pada tabel **Tabel 4.88** Perhitungan penulangan pelat ini adalah

Tabel 4. 88 Parameter Material dan Dimensi Pelat

f'_c	50 Mpa
f_y	410 Mpa
Momen	162450 kgm
Bw	1000 mm
h	1000 mm
dimater tulangan	25 mm
As	490.8739 mm ²
cover	50 mm
d	937.5 mm

- Perhitungan Tulangan Lentur

$$Rn = \frac{M}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{1624500000 \text{ Nmm}}{0.9 \times 1000 \times 937.5^2} = 2.054$$

$$\begin{aligned} \rho &= 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times f'_c}} \right) \\ &= 0.85 \frac{50}{410} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2.054}{0.85 \times 50}} \right) \\ &= 0.005136 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = 0.003415 \quad \rho_{min} = 0.25 \sqrt{\frac{f'_c}{f_y}} = 0.004312$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b = 0.0074$$

$$\rho = 0.005136$$

$$\begin{aligned} As &= 0.005136 \times B \times D = 0.005136 \times 1000 \times 937.5 \\ &= 4815.232 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{4815.232}{490.8739} = 9.8 \rightarrow \text{Pakai D25} - 100 \text{ mm}$$

- Perhitungan Tulangan Susut

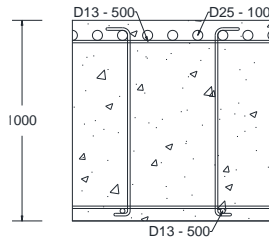
$$\text{Tulangan Diameter 13mm (As = 113.0973 mm}^2\text{)}$$

$$\rho_{susut} = 0.0002$$

$$A_s = 0.0002 \times B \times D = 0.0002 \times 1000 \times 937.5 \\ = 187.5 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{187.5}{113.0973} = 1.658 \rightarrow \text{Pakai D13 - 300}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka detail penulangan dari pelat ini ditunjukkan ada **Gambar 4.38**. Penulangan arah yang tidak dominan akan menggunakan desain tulangan susut.



Gambar 4. 38 Penulangan Pada Pelat Lantai Dasar Model 1

ii. Model 2

Pada model 2 ada 3 komponen struktur yang akan di rencanakan penulangannya. 3 komponen tersebut adalah dinding *bored pile*, pelat lantai kendaraan atas dan pelat lantai kendaraan bawah. Perhitungan penulangan akan menggunakan peraturan yang digunakan untuk mendesain penulangan pada bangunan beton. *Prelimanry design* untuk dimensi dari seluruh komponen pada model 2 akan ditunjukkan oleh **Tabel 4.89**.

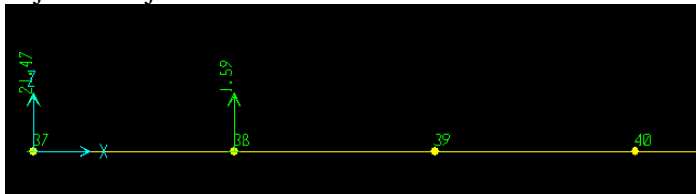
Tabel 4. 89 *Preliminary Design* pada Model 2

Komponen	Tebal (m)	Deiameter (m)
Pelat Atas	-	1
Pelat Bawah	1.25	-
<i>Bored Pile</i>	-	1

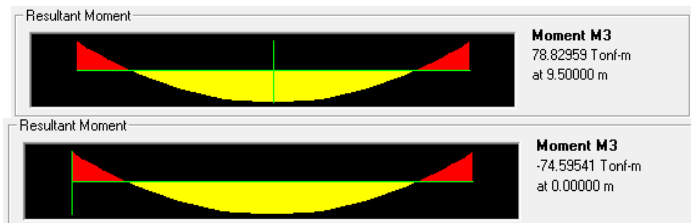
Pada model ini, ada 2 jenis pelat lantai kendaraan yang memiliki perbedaan fungsi. Pelat lantai atas akan berfungsi untuk menutup *approach* terowongan dan akan membantu dinding menahan dinding melawan tekanan lateral tanah dan air pori. Sedangkan, pelat lantai bawah akan difungsikan untuk memberikan jalan untuk kendaraan melewati terowongan ini.

Pelat lantai atas akan direncanakan untuk menerima beban tekan dari dinding dan beban kendaraan yang nantinya akan lewat di atasnya. Sedangkan pelat lantai bawah akan direncanakan untuk menahan momen dari beban angkat air.

Desain Tulangan pada pelat lantai kendaraan atas akan berdasarkan beban aksial dan beban lentur. Beban yang terjadi akan menggunakan asumsi beban seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Beban aksial yang terjadi adalah akibat reaksi dari tekanan lateral tanah dan air pori. Dengan bantuan dari SAP2000 maka akan didapatkan besar momen yang terjadi pada pelat ini. **Gambar 4.39** akan menunjukkan besar momen yang terjadi pada pelat ini. Sedangkan, besar beban aksial yang terjadi ditunjukkan oleh **Gambar 4.40**.



Gambar 4. 39 Besar Aksial Pelat Akibat Tekanan Lateral Tanah dan Air Pori



Gambar 4. 40 Momen yang Terjadi di Tengah Bentang (atas) dan di Tumpuan (bawah)

Dengan 2 hasil momen di atas, akan didesain penulangan pelat lantai kendaraan atas. Langkah langkah perhitungan sama seperti perhitungan penulangan pad acara sebelumnya. **Tabel 4.90** dan **Tabel 4.91** akan menunjukkan hasil perhitungan penulangan ini. Tulangan susut akan direncanakan untuk mengisi sisi atas pelat sehingga tidak terjadi kerusakan pelat

akibat penyusutan. Tulangan susut akan menggunakan tulangan diameter 13mm sehingga banyak tulangan yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 4.92**.

Tabel 4. 90 Desain Penulangan pada Momen Lapangan

f'c	50 Mpa
fy	410 Mpa
Momen	78830 kgm
Bw	1000 mm
h	1000 mm
dimater tulangan	25 mm
As	490.8739 mm ²
cover	30 mm
d	957.5 mm
Rn	0.95537
p _{perlu}	0.002357
p _{min}	0.003415
p _{min}	0.004312
p _{max}	0.007402
p _{pakai}	0.004312
As	4128.383 mm ²
n	9 buah /meter
Pakai	D25 - 100

Tabel 4. 91 Desain Penulangan pada Momen Tumpuan

f'c	50 Mpa
fy	410 Mpa
Momen	74600 kgm
Bw	1000 mm
h	1000 mm
dimater tulangan	25 mm
As	490.8739 mm ²
cover	30 mm
d	957.5 mm
Rn	0.904105
p _{perlu}	0.002229
p _{min}	0.003415
p _{min}	0.004312
p _{max}	0.007402
p _{pakai}	0.004312
As	4128.383 mm ²
n	9 buah
Pakai	D25 - 100

Tabel 4. 92 Desain Tulangan Susut pada Pelan Lantai

As	132.7323 mm ²
p	0.0002 m
As perlu	191.5 mm ²
n	2 buah
Pakai	D13 - 300

Untuk kontrol tekanan aksial, akan diasumsikan hanya material beton saja yang menahan beban aksial. Sehingga perhitungan aksialnya adalah sebagai berikut

$$P_n = 0.85 \phi (0.85 f'_c A_g)$$

$$\phi P_n = 0.85 \cdot 0.75 (0.85 \times 50 \times 1.10^6) = 27093750 \text{ N} \approx$$

$$2709.4 \text{ t} > 21.47 \text{ t}$$

Sehingga pelat struktur pelat dapat digunakan sebagai pelat kendaraan dan penahan dinding *bored pile*.

Desain penulangan pelat lantai kendaraan bawah akan direncanakan pada saat pelat telah dibangun dan belum ada yang melintasi. Pelat lantai ini akan direncanakan dengan tebal 1.25 meter. Sehingga beban yang dominan terjadi hanya beban angkat air. Beban angkat air akan direncanakan pada saat air tanah telah dalam kondisi hidrostatik, yang berarti besar tekanan

angkat air akan sangat dipengaruhi perbedaan elevasi muka air tanah. Besar gaya angkat yang terjadi adalah.

$$F = 8.2m \times 1t/m^3 = 8.2t/m^2$$

Dengan menggunakan asumsi seperti pada perhitungan dari model 1, dimana sambungan dari pelat dan dinding tidak sempurna, yang menyebabkan tumpuan pelat seperti tumpuan sendi. Dari asumsi-asumsi ini dan metode perhitungan pada model sebelumnya, desain penulangan pelat ini dapat dilihat pada **Tabel 4.93**. Pelat ini cukup tinggi, untuk menghindari kerusakan akibat penyusutan beton pada pelat ini, maka akan didesain pula tulangan susutnya. **Tabel 4.94** menunjukkan perhitungan tulangan susut pada pelat ini.

$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2 = \frac{1}{8} \times (8.2 - 1.25 \times 2.4) \times 19^2$$

$$= 234.65 \text{ t.m/m'}$$

Tabel 4. 93 Desain Penulangan pada Pelat Lantai Bawah Model 2

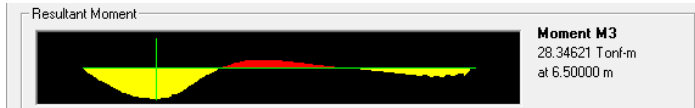
f'c	50 Mpa
fy	410 Mpa
Momen	234650 kgm
Bw	1000 mm
h	1250 mm
dimater tulangan	29 mm
As	660.5199 mm2
cover	30 mm
d	1205.5 mm
Rn	1.794087
pperlu	0.004472
pmin	0.003415
pmin	0.004312
pmax	0.007402
ppakai	0.004472
As	5391.359 mm2
n	9 buah /meter
Pakai	D29 - 100

Tabel 4. 94 Desain Tulangan Susut

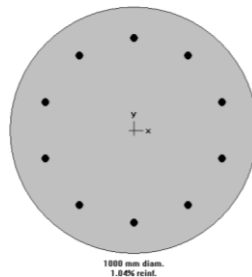
As (13mm)	132.7323 mm2
p	0.0002 m
As perlu	241.1 mm2
n	2 buah
Pakai	D13 - 300

Penulangan *bored pile* pada dinding ini akan direncanakan untuk menahan beban dari tekanan lateral tanah dan air pori.

Pada perencanaan ini pelat lantai kendaraan akan diasumsikan tidak memberikan tambahan momen kepada dinding, sehingga momen dinding hanya akan terpengaruh dari beban lateral dan tekanan air saja. Penulangan *bored pile* ini juga akan direncanakan dengan program bantu spColumn. **Gambar 4.41** menunjukkan momen yang terjadi pada *bored pile*. Dengan input dari momen terbesar pada **Gambar 4.41**, maka akan didapatkan konfigurasi dan perencanaan tulangan. Hasil dari spColumn adalah dengan menggunakan tulangan 10D32 dengan rasio tulangan 1%. Konfigurasi tulangan *bored pile* ditunjukkan oleh **Gambar 4.42**.



Gambar 4. 41 Bidang Momen dan Nilai Momen Maksimum pada *Bored Pile*



Gambar 4. 42 Tulangan pada *Bored Pile*

Seperti pada perhitungan penulangan *bored pile* sebelumnya, momen retak dari struktur ini akan dikontrol. Retak akibat beban yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan pada tulangan dari struktur dinding penahan tanah. Besar dari momen retak yang pada penampang ini adalah

$$M_{cr} = \frac{4.38 \times 0.0491 \times 10^{12}}{500} = 4.305 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$\approx 43.051 \text{ tm} > 28.346 \text{ tm} \quad (\text{ok})$$

Dari perhitungan ini, penampang belum mengalami retak pada saat penggalian telah selesai. Sehingga ukuran penampang *bored pile* dapat digunakan.

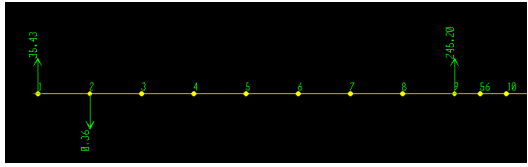
iii. Model 3

Pada model ini, ada 4 bagian struktur yang akan direncanakan penulangannya. Yang direncanakan pada model ini adalah 2 pelat lantai kendaraan, 1 balok lantai dan 1 *bored pile*. Asumsi-asumsi perencanaan dari penulangan di model ini akan sama seperti pada perhitungan penulangan pada model 1 dan model 2. **Tabel 4.95** akan menunjukan preliminary design dari dimensi dari setiap komponen yang akan direncanakan.

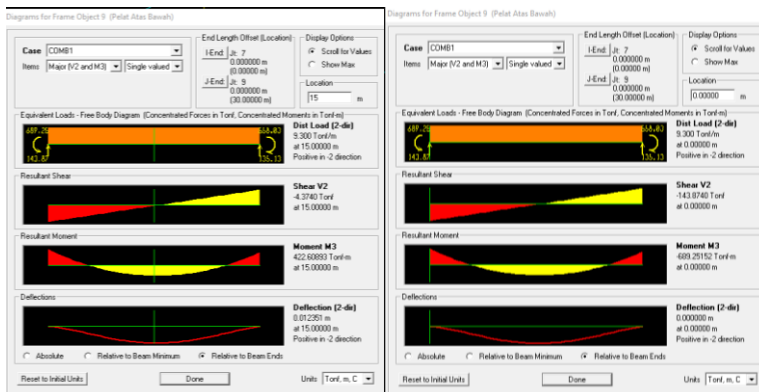
Tabel 4. 95 Preliminary Dimensi pada Model 3

Komponen	Tebal (m)	Deiameter (m)
Pelat Atas	2	-
Pelat Lantai Parkir	1.5	-
Pelat Bawah	2.5	-
Bored Pile	-	1.6

Pelat yang berada teratas merupakan pelat yang akan menutup *approach* ini agar di atas potongan ini dapat digunakan sebagai jalan kembali. Selain itu, pelat ini juga akan direncanakan untuk membantu perkuatan dinidng. Dengan beban beban di atas, maka beban momen akan didapatkan dari berat tanah, air dan traffic di atasnya, dan beban aksial akan didapatkan dari dinding akibat dari tekanan tanah, dan air pada perhitungan sebelumnya. Untuk perhitungan momen pada pelat ini akan dibantu dengan program bantu SAP2000. Bidang momen yang terjadi pada pelat ini akan ditunjukan oleh **Gambar 4.44** dan beban aksial yang terjadi ditunjukan oleh **Gambar 4.43** Besar beban aksial yang terjadi akan diambil dari hasil perhitungan pada langkah akhir.



Gambar 4. 43 Beban Aksial pada Pelat di Akhir Penggalan (titik 1: Pelat atas, titik 9: Pelat tengah)



Gambar 4. 44 Momen yang Terjadi di Tengah Bentang (kanan) dan di Tumpuan (kiri)

Sehingga dengan momen dan aksial di atas dapat direncanakan penulangan pada pelat ini. Kontrol aksial, akan diasumsikan bahwa seluruh penampang terbuat dari material beton. **Tabel 4. 96** dan **Tabel 4.97** menunjukkan desain tulangan lentur. Tulangan susut juga diperhitungkan agar tidak terjadi kerusakan karena penyusutan pada pelat ini Tulangan susut direncanakan menggunakan tulangan D13. **Tabel 4.98** akan menunjukkan desain tulangan susut.

Tabel 4. 96 Desain Penulangan pada Momen Tumpuan

f'c	50/Mpa
fy	410 Mpa
Momen	689251.5 kgm
Bw	1000 mm
h	2000 mm
dimater tulangan	29 mm
As	660.5199 mm2
cover	30 mm
d	1955.5 mm
Rn	2.002717
pperlu	0.005006
pmin	0.003415
pmin	0.004312
pmax	0.007402
ppakai	0.005006
As	9788.315 mm2
n	15 buah /meter
Pakai	D29 - 50

Tabel 4. 97 Desain Penulangan pada Momen Tengah Bentang

f'c	50/Mpa
fy	410 Mpa
Momen	422609 kgm
Bw	1000 mm
h	2000 mm
dimater tulangan	29 mm
As	660.5199 mm2
cover	30 mm
d	1955.5 mm
Rn	1.22795
pperlu	0.00304
pmin	0.003415
pmin	0.004312
pmax	0.007402
ppakai	0.004312
As	8431.386 mm2
n	13 buah
Pakai	D25 - 50

Tabel 4. 98 Desain Tulangan Susut

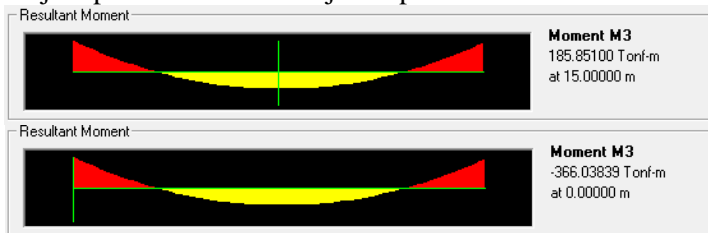
As	132.7323 mm ²
ρ	0.0002 m
As perlu	391.1 mm ²
n	3 buah
Pakai	D13 - 300

Untuk kontrol dari penampang untuk menahan beban aksial akan diperhitungkan dengan persamaan:

$$\phi P_n = 0.85 \cdot 0.75 (0.85 \times 50 \times 2.10^6) = 54187500 \text{ N/m}' \approx 5418.75 \text{ t/m}' > 35.43 \text{ t/m}'$$

Dari perhitungan di atas ini, maka dapat dilihat bahwa desain pelat dapat digunakan sebagai pelat penutup.

Pada lantai berikutnya, lantai akan dibuat dari struktur pelat seperti struktur pelat di atasnya. Pelat ini akan berfungsi untuk menahan beban kendaraan yang akan lewat dan parkir di atasnya. Beban dari pelat ini akan direncanakan sebesar 1.2 t/m^2 sesuai dengan SNI 1727-2013. Sehingga lantai ini dapat digunakan untuk tempat parkir truk. Kemudian, seluruh Beban ini akan diinputkan kedalam program SAP2000 sehingga akan didapatkan besar momen yang terjadi. Besar momen yang terjadi pada balok ini ditunjukkan pada **Gambar 4.44**.

**Gambar 4. 45** Bidang Momen dari SAP 2000 untuk Pelat Lantai Kendaraan

Dengan hasil dari SAP2000, penulangan dari pelat ini dapat didesain. Perhitungan desain tulangan pelat akan sama seperti pada perhitungan di model model sebelumnya. **Tabel 4.97** dan **Tabel 4.98** akan menunjukkan perhitungan desain tulangan pada model ini. Dengan ketebalan 1.5 meter tentu akan sangat berbahaya sekali untuk membiarkan bagian yang tidak

direncanakan penulangannya tidak diberi tulangan. Untuk mengisi bagian tersebut, maka akan direncanakan tulangan susutnya. **Tabel 4.99** akan menunjukkan desain tulangan susut.

Tabel 4. 99 Desain Tulangan pada Tumpuan

f'c	50 Mpa
fy	410 Mpa
Momen	366038 kgm
Bw	1000 mm
h	1500 mm
dimater tulangan	25 mm
As	490.8739 mm2
cover	30 mm
d	1457.5 mm
Rn	1.914549
pperlu	0.00478
pmin	0.003415
pmin	0.004312
pmax	0.007402
ppakai	0.00478
As	6966.609 mm2
n	15 buah /meter
Pakai	D29 - 50

Tabel 4. 100 Desain Tulangan pada Tengah Bentang

f'c	50 Mpa
fy	410 Mpa
Momen	185851 kgm
Bw	1000 mm
h	1500 mm
dimater tulangan	25 mm
As	490.8739 mm2
cover	30 mm
d	1457.5 mm
Rn	0.972087
pperlu	0.002399
pmin	0.003415
pmin	0.004312
pmax	0.007402
ppakai	0.004312
As	6284.196 mm2
n	13 buah /meter
Pakai	D25 - 50

Tabel 4. 101 Desain Tulangan Susut

As	132.7323 mm2
p	0.0002 m
As perlu	291.5 mm2
n	3 buah
Pakai	D13 - 300

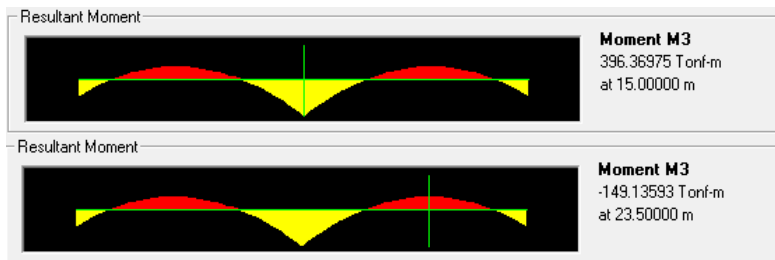
Kemudian karena ada beban aksial yang terjadi, penampang dari pelat akan dikontrol kemampuannya untuk menahan besar tekan yang terjadi. Besar tekan yang terjadi akibat menahan beban dinding adalah sebesar $245.2 \text{ t/m}'$. Dengan asumsi seperti pada model sebelumnya, besar gaya aksial yang terjadi adalah $\phi Pn = 0.85 \cdot 0.75 (0.85 \times 50 \times 1.5 \cdot 10^6) = 40640625 \text{ N/m}' \approx 4064.0625 \text{ t/m}' > 245.2 \text{ t/m}'$

Sehingga dari perhitungan ini pelat dengan tebal 1.5 meter dapat digunakan.

Pelat ke-3 adalah pelat yang akan menerima beban angkat air secara langsung. Besar Beban angkat air yang terjadi adalah dalam kondisi ait muka tanah kembali hidrostatis, sehingga besar gaya angkat air tanah akan dipengaruhi oleh perbedaan tinggi muka air tanah. Besar tekanan air tanah tersebut adalah

$$F = (18.8 - 2)m \times 1t/m^3 = 16.8 \text{ t/m}^2$$

Pada perhitungan besar tekanan angkat air adanya pengurangan 2 meter. 2 meter ini adalah tinggi air di atas pelat tertinggi pada model ini. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada BAB 2, pada penjelasan beban yang terjadi pada segmen terowongan *cut and cover*. Besar gaya angkat ini akan direncanakan berdasarkan beban yang telah dikalkulasikan di atas. Beban ini akan di-*input*-kan kedalam SAP2000 sehingga dapat dicari nilai momen maksimumnya. Bidang dan besar momen pada pelat ini ditunjukkan oleh **Gambar 4.45**.



Gambar 4. 46 Besar Bidang Momen yang Terjadi pada Pelat Bawah

Dengan hasil momen dari SAP2000, akan didesain banyak tulangan yang akan digunakan pada pelat ini. Metode perhitungan yang dilakukan sesuai dengan metode perhitungan yang dilakukan sebelumnya. **Tabel 4.100** dan **Tabel 4.101** menunjukkan hasil perhitungan tulangan untuk menahan momen yang terjadi. untuk menghindari pelat beton tidak mengalami kerusakan karena adanya penyusutan, maka harus didesain tulangan susut sehingga tidak terjadi kerusakan. **Tabel 4.102** menunjukkan desain dari tulangan susut pada pelat ini. Tulangan susut akan menggunakan tulangan berdiameter 13mm

Tabel 4. 102 Desain Tulangan pada bagian atas pelat

f'c	50 Mpa
fy	410 Mpa
Momen	396370 kgm
Bw	1000 mm
h	1500 mm
dimater tulangan	29 mm
As	660.52 mm2
cover	100 mm
d	1385.5 mm
Rn	2.2943
pperlu	0.0058
pmin	0.0034
pmin	0.0043
pmax	0.0074
ppakai	0.0058
As	7974.35 mm2
n	13 buah /meter
Pakai	D29 - 50

Tabel 4. 103 Desain Tulangan pada bagian bawah pelat

f'c	50 Mpa
fy	410 Mpa
Momen	148550 kgm
Bw	1000 mm
h	1500 mm
dimater tulangan	29 mm
As	660.5199 mm2
cover	100 mm
d	1385.5 mm
Rn	0.859839
pperlu	0.002119
pmin	0.003415
pmin	0.004312
pmax	0.007402
ppakai	0.004312
As	5973.759 mm2
n	10 buah /meter
Pakai	D29 - 100

Tabel 4. 104 Desain Tulangan Susut pada Pelat

As	132.7323 mm2
p	0.0002 m
As perlu	491.1 mm2
n	4 buah
Pakai	D13 - 300

Penulangan *bored pile* dinding penahan tanah ini, akan direncanakan dengan menggunakan momen pada perhitungan sebelumnya. Beban yang terjadi pada dinding adalah tekanan lateral tanah dan tekanan air pori. Kondisi paling ekstrim adalah pada saat akhir dari penggalian ke-2. Besar momen yang terjadi pada akhir penggalian fase ke-2 ditunjukkan oleh **Gambar 4.47**. Untuk merencanakan penulangan *bored pile* akan dibantu dengan program bantu spColumn. Dengan input dari momen terbesar pada **Gambar 4.46**, maka akan didapatkan konfigurasi dan perencanaan tulangan. Hasil dari spColumn adalah dengan menggunakan tulangan 25D32 dengan rasio tulangan 1%. Konfigurasi tulangan *bored pile* ditunjukkan oleh **Gambar 4.47**.

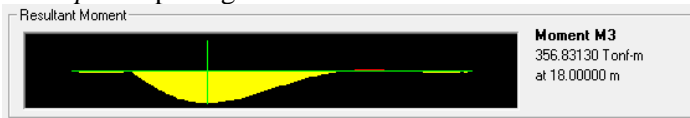
Untuk menghindari masuknya air tanah kedalam dinding penahan maka akan perlu dikontrol besar momen yang dapat menyebabkan retak pada permukaan *bored pile*. Masuknya air kedalam dinding dapat menyebabkan kerusakan pada tulangan yang menahan dinding. maka perlu dilakukan kontrol momen

retak sehingga air tidak masuk kedalam struktur dinding. perhitungan besar momen retak adalah

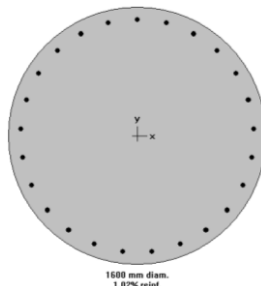
$$M_{cr} = \frac{4.38 \times 0.7854 \times 10^{12}}{800} = 4.304 \times 10^9 \text{ Nmm}$$

$$\approx 430.405 \text{ tm} > 356.83 \text{ tm} \quad (\text{ok})$$

Dari perhitungan ini, penampang belum mengalami retak pada saat penggalian telah selesai. Sehingga ukuran penampang *bored pile* dapat digunakan.



Gambar 4. 47 Momen yang Terjadi pada *Bored Pile*



Gambar 4. 48 Tulangan *Bored Pile*

e. Analisa *Buoyancy* dan Friksi *Bored Pile*

Buoyancy adalah tekanan air keatas akibat adanya perbedaan tinggi permukaan air tanah karena penggalian. Pada perencanaan ini, perbedaan tinggi muka air terjadi karena letak permukaan tanah akan berubah karena kegiatan penggalian. Ada kemungkinan gaya *buoyancy* akan menyebabkan seluruh segmen terowongan terangkat. Untuk menghindari itu maka kontrol beban *buoyancy* yang terjadi harus diperhitungkan dalam menghitung struktur penahannya.

Kontrol besar gaya *buoyancy* akan direncanakan pada saat pelat lantai bawah telah terpasang dan muka air tanah telah hidrostatik kembali. Artinya muka air tanah setelah dilakukan ekskavasi maka akan berada tepat dibawah pelat lantai

kendaraan. Besar dari gaya yang akan terjadi merupakan beban luas yang besar gaya sebesar perbedaan tinggi muka air tanah dikali dengan berat volume dari air tanah tersebut.

Seluruh beban tekanan air ini akan ditahan oleh berat total dari terowongan dan friksi dari *bored pile* yang dipasang sebelum dilakukan penggalian. Pada perhitungan ini, bentuk dari *bored pile* yang seharusnya lingkaran akan diasumsikan dengan bentuk segi-empat, panjang salah satu sisinya sebesar diameter dari *bored pile* yang terpasang dan sisi yang lain memiliki panjang 1 meter. Asumsi ini diambil karena jarak antar *bored pile* sangat kecil. Friksi akan dihitung sesuai dengan keadaan *bored pile* yang telah terpasang. Pada Kontrol ini maka diambil angka keamanan 3 (SF=3).

i. Model 1

Pada model potongan ini, kedalam galian yang dilakukan adalah sedalam 6 meter dari permukaan. Bentuk dari model dapat dilihat di **Gambar 4.18**. Pada perencanaan model ini, jalan raya selebar 19 meter dengan tebal pelat 1 meter. Untuk *bored pile*, kedalam rencana adalah 23 meter dengan diameter *bored pile* 1.5 meter.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, besar dari beban *buoyancy* adalah perbedaan tinggi muka air dikalikan dengan berat volume air. Sehingga besar dari yang mengangkat seluruh bagian terowongan adalah sebesar:

$$F = 6m \times 1t/m^3 = 6t/m^2$$

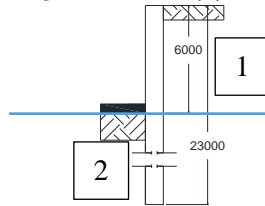
$$\Sigma F = 6t/m^2 \times 19m = 114 t/m'$$

Berdasarkan perhitungan di atas, beban yang harus ditahan oleh keseluruhan bagian terowongan adalah sebesar 114 t/m' (arah tegak lurus gambar)

Seluruh bagian terowongan akan membantu menahan gaya *buoyancy* yang terjadi. *Bored pile* akan menahan gaya ini dengan friksi antara *bored pile* dan tanah, dan pelat lantai akan membantu dengan berat dari pelat tersebut. Oleh karena itu, komponen yang menahan akan diperhatikan. Perhitungan yang menahan gaya angkat air adalah sebagai berikut.

Panjang Dinding Terbuka (1) = 6 meter

Panjang Dinding Tertanam (2) = (23 – 6) = 17 meter



Gambar 4. 49 Pejelasan bagian friksi tiang Model 1

$$\text{Berat Pile} = 2.4 \times V_{\text{pile}} \times L = 86.71 \text{ t/m'}$$

$$\text{Berat Pelat Lantai} = 2.4 \times 1 \times 19 = 22.8 \text{ t/m'}$$

$$\bar{C}_u \text{ tanah tergali (1)} = 5.89 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{rata - rata dari parameter data Tanah 1 pada Bagian 1}$$

$$\bar{C}_u \text{ dibawah galian (2)} = 15.72 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{rata - rata dari parameter data Tanah 1 pada Bagian 1}$$

Friksi Tiang

$$Q_u = (2LH + 2BH) \times C_u$$

$$\text{Bagian 1} \rightarrow Q_u = 1 \times 1 \times 5.89 \times 6 = 52.97 \text{ t/m'}$$

$$\text{Bagian 2} \rightarrow Q_u = 1 \times 1 \times 15.72 \times 17 = 400.78 \text{ t/m'}$$

$$\sum Q_u = (52.97 + 400.78 \times 2) \times 2 + 22.8 + 86.71 \times 2 = 2144.85 \text{ t/m'}$$

$$Q_{all} = \frac{2144.85}{3} = 714.95 \text{ t/m'} > 114 \text{ t/m'} \quad (\text{ok})$$

Sehingga potongan model 1 ini dapat menahan gaya *buoyancy* yang terjadi pada perencanaan ini.

ii. Model 2

Pada model potongan ini, kedalam galian yang dilakukan adalah sedalam 8.2 meter dari permukaan. Bentuk dari model dapat dilihat di **Gambar 4.21**. Pada perencanaan model ini, jalan raya selebar 19 meter dengan tebal pelat 1 meter. Untuk bored pile, kedalamannya rencana adalah 30 meter dengan diameter *bored pile* 1 meter.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, besar dari beban *buoyancy* adalah perbedaan tinggi muka air dikalikan dengan berat volume air. Sehingga besar dari yang mengangkat seluruh bagian terowongan adalah sebesar:

$$F = 8.2m \times 1t/m^3 = 8.2t/m^2$$

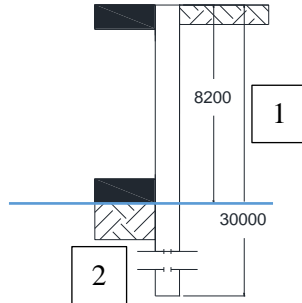
$$\Sigma F = 8.2t/m^2 \times 19m = 155.8 t/m'$$

Berdasarkan perhitungan di atas, beban yang harus ditahan oleh keseluruhan bagian terowongan adalah sebesar 155.8 t/m' (arah tegak lurus gambar)

Seperti yang diasumsikan, bahwa seluruh komponen pembentuk *approach* akan diperhitungkan sebagai gaya penahan gaya angkat air. Gaya penahanan tersebut adalah berat struktur dan friksi tanah. Friksi tanah yang akan menahan gaya angkat air adalah sebagai berikut

$$\text{Panjang Dinding Terbuka (1)} = 8.2 \text{ meter}$$

$$\text{Panjang Dinding Tertanam (2)} = (30 - 8.2) = 21.8 \text{ meter}$$



Gambar 4. 50 Pejelasan bagian friksi tiang Model 2

$$\text{Berat Pile} = 2.4 \times V_{\text{pile}} \times L = 131.95 t/m'$$

$$\text{Berat Pelat Lantai 1} = 2.4 \times 1 \times 19 = 45.6 t/m'$$

$$\text{Berat Pelat Lantai 2} = 2.4 \times 1.25 \times 19 = 57 t/m'$$

$$\bar{C}_u \text{ tanah tergali} = 6.52 t/m^2 \rightarrow \text{rata-rata dari parameter data Tanah 2 pada Bagian 1}$$

$$\bar{C}_u \text{ dibawah galian} = 17.83 t/m^2 \rightarrow \text{rata-rata dari parameter data Tanah 2 pada Bagian 2}$$

Friksi Tiang

$$Q_u = (2LH + 2BH) \times C_u$$

$$\text{Friksi Bagian 1} = (1 \times 1 \times 8.2) \times 6.52 = 53.475 t/m'$$

$$\text{Friksi Bagian 2} = (1 \times 1 \times 21.8) \times 17.83 = 478.09 t/m'$$

$$\Sigma Q_u = \text{Friksi tiang} \times 2 + \text{Berat Struktur}$$

$$= (53.475 + 478.09 \times 2) \times 2 + 131.95 \times 2 + 45.6 + 57 = 2253.85 t/m'$$

$$Q_{all} = \frac{2253.85}{3} = 751.28 \text{ t/m}' > 155.8 \text{ t/m}' \text{ (ok)}$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa seluruh komponen dari *approach* mampu menahan gaya *buoyancy* yang terjadi.

iii. Model 3

Pada model potongan ini, kedalam galian yang dilakukan adalah sedalam 18.8 meter dari permukaan. Bentuk dari model dapat dilihat di **Gambar 4.26**. pada model ini, elevasi teratas *approach* terdapat pada elevasi -2.00, sehingga ada pengurangan dari besar tekanan angkat air. Pada perencanaan model ini, lebar total jalan raya dan jalan rel selebar 49 meter dengan tebal pelat 2.5 meter. Untuk bored pile, kedalaman rencana adalah 53 meter dengan diameter bored pile 1 meter.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, besar dari beban *buoyancy* adalah perbedaan tinggi muka air dikalikan dengan berat volume air. Sehingga besar dari yang mengangkat seluruh bagian terowongan adalah sebesar:

$$F = (18.8 - 2)m \times 1t/m^3 = 16.8 \text{ t/m}^2$$

$$\Sigma F = 16.8 \text{ t/m}^2 \times 49m = 921.2 \text{ t/m}'$$

Berdasarkan perhitungan di atas, beban yang harus ditahan oleh keseluruhan bagian terowongan adalah sebesar 921.2 t/m' (arah tegak lurus gambar)

Seperti yang diasumsikan, bahwa seluruh komponen pembentuk *approach* akan diperhitungkan sebagai gaya penahan gaya angkat air. Gaya penahanan tersebut adalah berat struktur dan friksi tanah. Friksi tanah yang akan menahan gaya angkat air adalah sebagai berikut

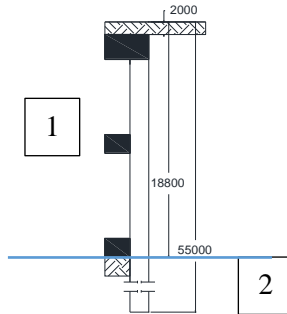
$$\text{Panjang Dinding Terbuka (1)} = 16.8 \text{ meter}$$

$$\text{Panjang Dinding Tertanam (2)} = 53 - 16.8 = 36.2 \text{ meter}$$

$$\text{Berat Pile} = 2.4 \times V_{pile} \times L = 511.5 \text{ t/m}'$$

$$\text{Berat Pelat Penutup} = 2.4 \times 2 \times 49 = 235.2 \text{ t/m}'$$

$$\text{Berat Pelat Lantai 1} = 2.4 \times 1.5 \times 49 = 176.4 \text{ t/m}'$$



Gambar 4. 51 Pejelasan bagian friksi tiang Model 3

Berat Pelat Lantai 2 = $2.4 \times 1.5 \times 49 = 176.4 \text{ t/m'}$

\bar{C}_u tanah tergali = $2.81 \text{ t/m}^2 \rightarrow$ rata – rata dari parameter data Tanah 3 pada Bagian 1

\bar{C}_u dibawah galian = $12.08 \text{ t/m}^2 \rightarrow$ rata – rata dari parameter data Tanah 3 pada Bagian 1

Friksi Tiang

$$Q_u = (2LH + 2BH) \times C_u$$

$$\text{Friksi Bagian 1} = (1 \times 1 \times 18.8) \times 2.81 = 75.64 \text{ t/m'}$$

$$\text{Friksi Bagian 2} = (1 \times 1 \times 36.2) \times 12.08 = 1399.34 \text{ t/m'}$$

$$\sum Q_u = 75.64 \times 2 + (1399.34 \times 2) \times 3 + 511.5 \times 3 + 176.4 + 176.4 + 235.2 = 5448.812 \text{ t/m'}$$

$$Q_{all} = \frac{5448.812}{3} = 1816.27 \text{ t/m'} > 921.2 \text{ t/m'} \quad (\text{ok})$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa seluruh komponen dari approach mampu menahan gaya buoyancy yang terjadi.

f. Perhitungan dengan Program Bantu Plaxis v8.2

Pada saat melakukan perhitungan, kesalahan pada perhitungan adalah suatu resiko yang harus diambil. Akan tetapi, untuk mengurangi resiko tersebut, dapat digunakan program-program bantu yang telah sering digunakan untuk memnghitung apa yang akan terjadi. Plaxis adalah salah satu program bantu yang sering digunakan dalam perencanaan struktur perkuatan tanah. Untuk memastikan perhitungan yang telah dilakukan dapat dipertanggung jawabkan, maka hasil dari

Plaxis akan digunakan untuk memvalidasi hasil yang telah didapatkan

Plaxis adalah suatu program bantu yang tidak dapat berkerja tanpa adanya input. Input input yang digunakan adalah geometri perencanaan, data hasil analisa tanah dan material percutan tanah yang digunakan. Pada perencanaan ini, salah satu input yang diminta oleh Plaxis adalah modulus elastisitas tanah, yang tidak ada data di data tanah yang ada. Oleh karena itu maka perlu dilakukan korelasi dengan tabel penelitian yang telah ada. Hasil dari korelasi modulus elastisitas dapat dilihat di bagian analisa data tanah.

Untuk melakukan perbandingan, harus diambil *output* yang memiliki kesamaan yang dihitung pada perhitungan manual. Hasil dari Plaxis adalah besar defleksi *soldier pile* yang diinputkan.

i. Model 1

Plaxis akan meminta beberapa data yang digunakan sebagai *input* untuk perhitungannya, seperti pada **Gambar 4.52**. Pada geometrinya, dapat dilihat bahwa tiap lapisan tanah akan memiliki parameter yang berbeda-beda. *Bored pile* di-*input*-kan sesuai dengan panjang yang telah dihitung sebelumnya, serta parameter dari *bored pile*, seperti Inertia dan luas penampang akan diambil dari program SAP2000, dapat dilihat pada perhitungan ini. Setelah dilakukan *input* kedalam program, pembagian *mesh* dapat dilakukan. Pembagian *mesh* finite element tersebut ditunjukkan oleh **Gambar 4.53**.

$$E = 4700 \times \sqrt{50} = 33234.02 \text{ MPa} = 33234020 \text{ kPa}$$

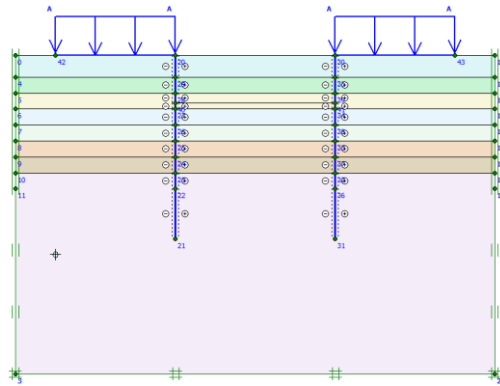
$$I = 0.2485 \text{ m}^4 \rightarrow \text{dari SAP2000}$$

$$A = 1.7671 \text{ m}^2 \rightarrow \text{dari SAP2000}$$

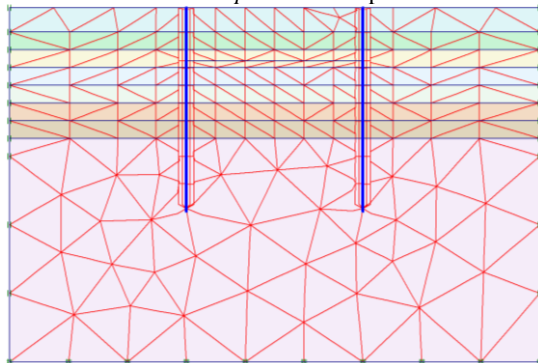
$$EA = 33234020 \times 1.7671 = 58727834 \text{ kN/m}$$

$$EI = 33234020 \times 0.2485 = 8258654 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

$$W = 24 \times 1.7671 = 42.41 \text{ kN/m/m}$$



Gambar 4. 52 *input* Geometri pada Plaxis

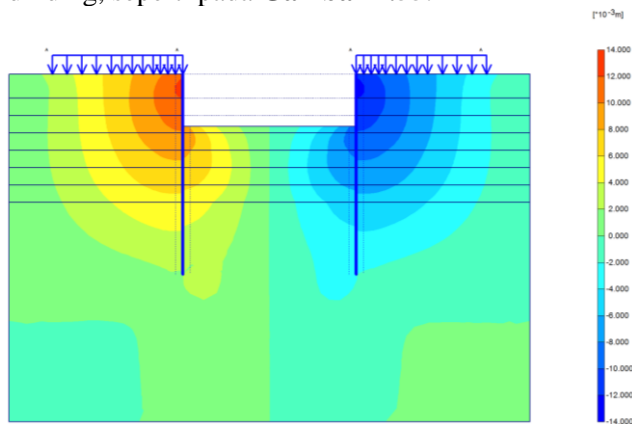


Gambar 4. 53 Pembagian *mesh* pada program Plaxis v8.2

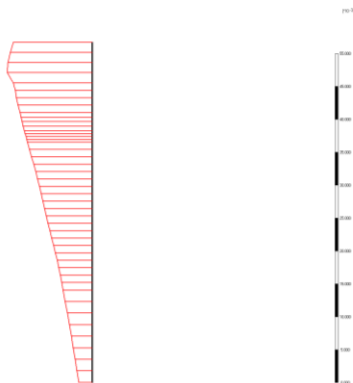
Beban dari yang digunakan adalah sebesar $-15 \text{ kpa} / -1.5 \text{ t/m}^2$ sesuai dengan perhitungan sebelumnya. Pada halaman *initial condition*, muka air tanah akan diletakan tepat permukaan. dan tidak melakukan perubahan pada geometri. Pada halaman *calculation*, baru beberapa lapisan tanah akan dinonaktifkan sehingga terbentuk sebuah galian, dan air pada lapisan tersebut akan diganti menjadi *pharectic dry*. Proses kalkulasi akan dilakukan dengan bertahap, dimana setiap layer akan dinonaktifkan pada setiap langkah

perhitungannya. Langkah tersebut dapat dilihat pada Lampiran.

Hasil dari Plaxis yang akan diambil adalah deformasi pada langkah akhir yang terjadi pada *bored pile*, sehingga untuk melihat hasilnya akan dipilih *output horizontal deformation*. Output yang diambil adalah deformasi horizontal dari keseluruhan geometri input, seperti pada **Gambar 4.54**, dan deformasi horizontal dari salah satu dinding, seperti pada **Gambar 4.55**.



Gambar 4. 54 Hasil *Horizontal Deflection* Plaxis

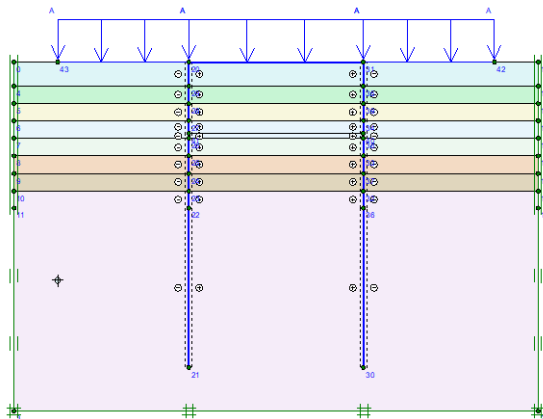


Gambar 4. 55 Deformasi dari *Bored Pile* Berdasarkan Hasil Plaxis

Berdasarkan hasil Plaxis ditemukan bahwa deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar 12.93 mm. Perbedaan yang terjadi sangat mungkin karena perbedaan dari perhitungan dari dasar besar nilai *coefficient of subgrade reaction*. besar koefisien yang digunakan pada perhitungan sebelumnya menggunakan korelasi yang mungkin besarnya lebih besar dari pada yang ditemukan pada Plaxis.

ii. Model 2

Salah satu data yang di inputkan kedalam Plaxis adalah geometri dan data tanah dari tanah yang akan dianalisis. Input geometri pada Plaxis dapat dilihat pada **Gambar 4.56**. Input dari data tanah akan menyesuaikan data tanah yang telah dikorelasikan sebelumnya pada sub-bab a. dengan asumsi interface dari dinding akan diasumsikan 0,9.



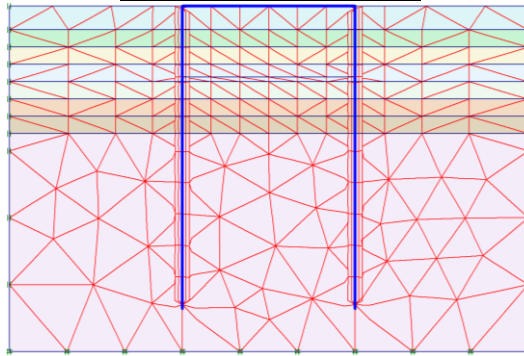
Gambar 4. 56 Input Geometri pada Plaxis

Seluruh bagian terowongan akan di-*input*-kan sebagai plate pada program Plaxis. Untuk sebuah struktur, pada program Plaxis akan diminta data EA dan EI dari *interface plate* di dalam program Plaxis. Pelat lantai kendaraan akan menggunakan tebal 1 meter. Pada model ini, *input interface plate* dapat dilihat pada **Tabel 4.107**. Setelah seluruh parameter di masukan kedalam

program Plaxis, *mesh* untuk finite element dapat di bagi seperti pada **Gambar 4.57**.

Tabel 4. 105 Input Plate Plaxis

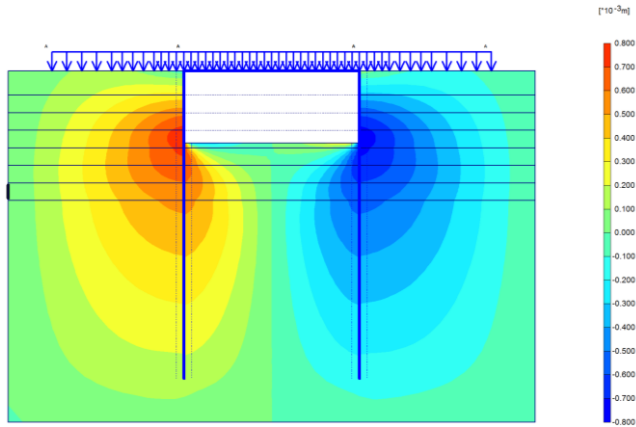
Parameter	Pelat	Soldier Pile
A (m ²)	1	0.785
I (m ⁴)	0.083333	0.0491
E (kpa)	33234018.72	
EA	33230000	26101937.3
EI	2770000	1631790.32



Gambar 4. 57 Pembagian *mesh* pada Model 2

Pada geometri di atas ada beban terbagi rata yang terdapat pada *input* geometri pada **Gambar 4.56**. Besar beban tersebut adalah -15 kPa / 1.5 t/m² seperti pada perhitungan sebelumnya. Proses perhitungan, termasuk *initial condition*, *pharetic condition* dan langkah pengerjaan, akan sama seperti pada model sebelumnya. *Output* perhitungan yang diharapkan juga sama seperti pada percobaan sebelumnya.

Hasil perhitungan dari Plaxis yang diharapkan adalah deformasi yang terjadi pada dinding. Hasil perhitungan pada seluruh geometri adalah seperti pada **Gambar 4.58** yang besar deformasi yang terjadi ditunjukkan dengan kode warna.



Gambar 4. 58 Hasil Plaxis Output: *Horizontal Deflection*

Pada hasil di atas, dapat dilihat bahwa defleksi horizontal terbesar yang terjadi adalah sebesar 7.17 mm. Tidak hanya itu, pada bagian terbawah dari dinding terjadi sedikit pergeseran. Pergeseran dibawah ditumbulkan karena lapisan tanah di Plaxis diasumsikan sama, sehingga tidak ada asumsi dinding telah terjepit pada kedalaman tertentu. Hasil yang yang didapatkan dari Plaxis memiliki perbedaan dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Pada perhitungan manual, defleksi maksimum yang didapatkan adalah sebesar 4.3mm. Perbedaan ini dapat dikarenakan adanya beberapa perbedaan di salah satu parameter tanah. Salah satu yang menimbulkan perbedaan adalah kalkulasi dari *coefficient of subgrade reaction*, dimana pada perhitungan manual akan dikorelasikan dengan tabel yang ada. Selain itu pada perhitungan manual tidak mempertimbangkan berat struktur pelat yang menahan dinding tersebut.

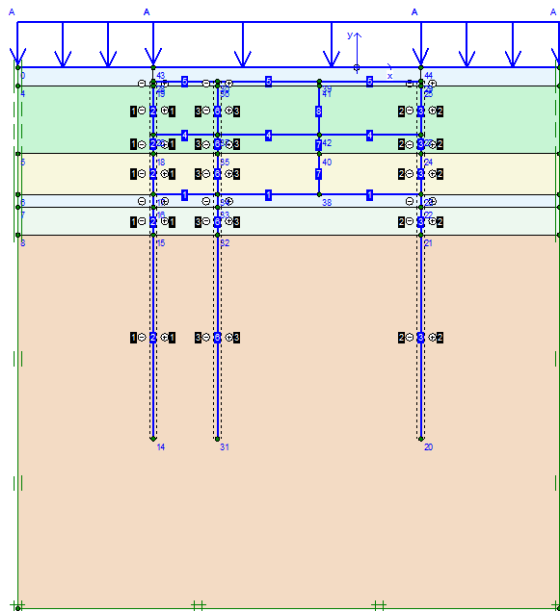
iii. Model 3

Seperti pada sebelumnya, model ketiga juga akan diperhitungkan pada program Plaxis juga. Geometri dari model ini dapat dilihat pada **Gambar 4.59**. Pada perhitungan dengan menggunakan program Plaxis kali ini, lapisan tanah

seluruh lapisan tanah tidak di-*input*-kan semuanya. Lapisan tanah akan ditentukan dari jenis lapisan tanah dan jenis lapisan tanah. Dari data tanah yang digunakan pada model 3, akan ditentukan bahwa geometri tanah akan dibagi menjadi 6 lapisan tanah. Parameter tanah akan di rata-rata dari parameter tanah dengan konsistensi tanah yang sama. Parameter tanah yang diinputkan dapat dilihat pada **Tabel 4.108**.

Tabel 4. 106 Parameter Tanah Input Plaxis

Hatas	- Hbawah	γ_{sat} (t/m ³)	C_u (t/m ²)	Φ (deg)	E_s (Kpa)
0	- 2.75	1.954	0.800	0	1632.000
2.75	- 12.75	1.633	2.870	0	1393.200
12.75	- 18.75	1.305	3.500	0	30360.000
18.75	- 20.75	1.725	5.500	0	1860.000
20.75	- 24.75	1.913	0	33	5720
24.75	- 55	1.742	2.100	0	2640.000



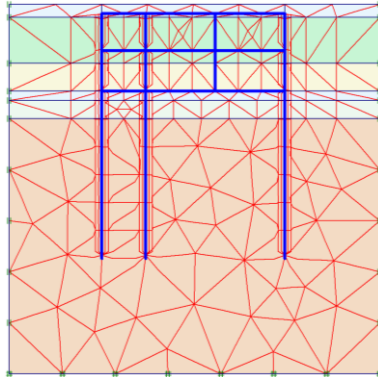
Gambar 4. 59 Input Geometri pada Plaxis

Input lain yang diperlukan adalah parameter dari dinding penahan tanah. Seperti pada perhitungan sebelumnya, dinding akan menggunakan *bored pile* dengan diameter 1.6 meter.

Dengan adanya 3 pelat yang akan dikalkulasikan. 3 pelat tersebut adalah pelat atas, pelat lantai kendaraan dan pelat lanti kendaraan bawah. *Input* parameter pelat akan sesuai dengan desain pelat sebelumnya. Parameter pelat dan dinding dapat dilihat pada **Tabel 4.109**. Kemudian, *mesh* geometri tersebut akan di bentuk ditunjukkan oleh **Gambar 4.60**.

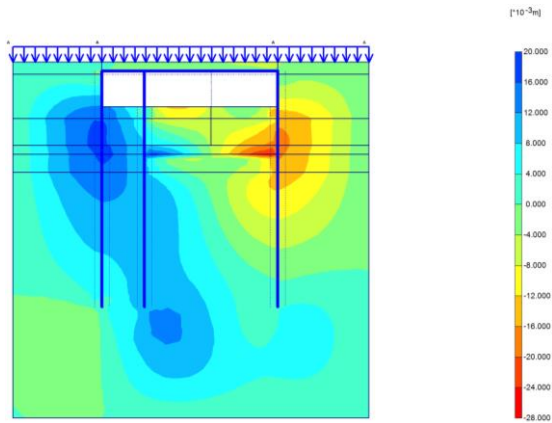
Tabel 4. 107 Parameter Struktur untuk Strukut *Approach*

Komponen	Pelat Atas	Pelat Tengah	Pelat Bawah	Bored Pile
E (Kpa)	33234018.72			
A (m2)	2	1.5	2.5	2.01
I (m4)	0.67	0.28	1.30	0.32
EA (kN/m)	66468037.43	49851028.07	83085046.79	66820959.39
EI (kNm2/m)	22156012.48	9347067.764	43273461.87	10691383.82

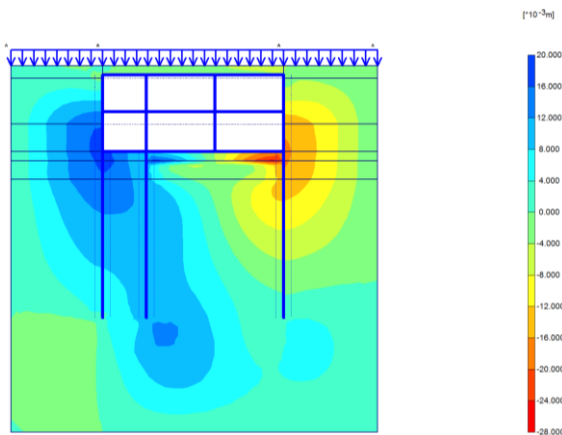


Gambar 4. 60 Pembagian *mesh* pada Model 3

Proses perhitungan dinding ini akan menyesuaikan apa yang dihitung pada perhitungan sebelumnya. Perhitungan Plaxis akan dibagi menjadi beberapa fase. Tiap fase tersebut akan menonaktifkan beberapa bagian tanah. hasil yang ditunjukkan adalah pada akhir dari fase pertama dan akhir pada fase 2. Langkah perhitungan dengan plaxis akan ditunjukkan di Lampiran. Setelah itu proses kalkulasi Plaxis akan dijalankan. Hasil dari perhitungan dengan menggunakan Plaxis akan ditunjukkan oleh **Gambar 4.61** Untuk akhir dari fase pertama dan **Gambar 4.62** Untuk fase ke dua. 2 hasil ini merupakan *Horizontal displacement* yang terjadi pada geometri tanah yang diinputkan.



Gambar 4. 61 Hasil Plaxis pada Akhir Fase 1



Gambar 4. 62 Hasil Plaxis pada Akhir Fase 2

Pada fase ke 2 perhitungan Plaxis tidak dapat menyesuaikan perhitungan manual yang terjadi. bila pelat lantai bawah di non-aktifkan pada perhitungan dari penggalian fase 2, akan terjadi *error* pada hasil akhir dari Plaxis. Sehingga untuk melihat hasilnya maka pelat lantai akan diaktifkan. Berdasarkan hasil di atas dapat dilihat bahwa pada fase 1 defleksi terbesar adalah 17.4 mm dan pada fase ke 2 nilai deformasi maksimum sebesar 16.85 mm.

Dari hasil Plaxis dan hasil perhitungan manual sebelumnya, terdapat perbedaan dari hasil defleksi yang dikalkulasikan. Pada perhitungan sebelumnya, besar defleksi maksimum yang terjadi pada fase 1 adalah sebesar 12.6 mm dan pada fase 2 sebesar 22.1. Hal ini mungkin terjadi karena parameter dari tanah yang diinputkan adalah hasil korelasi dari data yang telah ada. Selain itu, pada perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya juga menggunakan korelasi data pada *coefficient of subgrade reaction*. ada kemungkinan juga Plaxis juga menggunakan nilai ks dengan persamaan yang menggunakan dari persamaan yang menggunakan modulus elastisitas.

4.5. Perencanaan Metode Pelaksanaan Pembangunan

a. Pelaksanaan Pembangunan Immersed Tunnel

Langkah Langkah perekerjaan

1. Melakukan pabriikasi dari segmen terowongan + pengecekan kebocoran

Langkah awal untuk melakukan pembangunan dari terowongan *immersed tunnel* adalah membuat segmen terowongan. Segmen terowongan akan dibuat di daerah pantai elevasi lantai kerjanya berada dibawah permukaan air laut, sehingga pada saat proses transportasinya air laut dapat membanjiri seluruh bagian terowongan dan dapat mengangkat seluruh segmen terowongan. Seluruh segmen terowongan akan dipabrikasikan di tempat ini. Proses Pabrikasi segmen terowongan dapat dilihat pada **Gambar 4.63**.



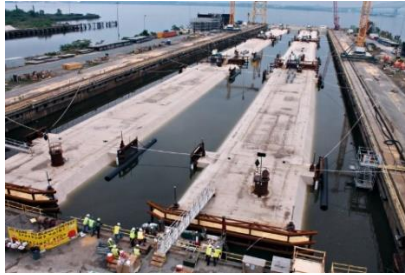
Gambar 4. 63 Proses Pabrikasi Segmen Terowongan (sumber: <http://insights.wsp-pb.com>)

Kebocoran pada segmen terowongan bawah laut akan menyebabkan kejadian yang sangat fatal. Pengecekan segmen yang telah jadi sehingga bebas dari kebocoran adalah kegiatan yang harus dilakukan. Selain, membahayakan pengendara pada masa layannya, struktur segmen ini tidak bisa ditransportasikan menuju tempat yang akan direncanakan, sebab air laut akan masuk melalui celah celah retakan.

2. *Dredging* tempat untuk untuk peletakan segmen terowongan
 Seraya dengan proses pabrikasi segmen terowongan, persiapan untuk tempat peletakan segmen dapat dilakukan. Persiapa tempat ini akan memerlukan proses *dredging* di sepanjang rute terowongan akan dibangun.
3. Peletakan pondasi lajur di tempat segmen
 Setelah parit untuk lokasi tempat peletakan terowongan telah terbentuk, Pembuatan pondasi lajur dapat dilakukan. pondasi lajur yang mudah untuk dibangun di dasar laut adalah dengan pondasi batuan dengan tebal kurang lebih 60 cm hingga 1 meter. pada pekerjaan ini, dilakukan hanya dengan meratakan permukaan lapisan batuan, sehingga tidak akan merusak segmen terowongan. Tujuannya peletakan pondasi ini adalah untuk meratakan beban yang disebabkan oleh segmen terowongan ke dasar laut yang telah digali
4. Penutupan dan transportasi segmen sebelum dibawa ke lokasi
 Setelah lokasi dari terowongan telah digali dan pondasi lajur telah terbangun, segment telah siap untuk dipindahkan dari tempat pabrikasi ke rute yang direncanakan. Sebelum lokasi pabrikasi segmen dibanjiri dengan air laut, Seluruh lubang yang telah dibuat dari segmen akan ditutup dengan pintu baja, sehingga dapat kedap air. Penutupan ini dapat menyebabkan bagian dalam segmen akan terisi oleh udara sehingga tidak ada pemberat selain berat struktur dari segmen itu sendiri yang dapat membuat seluruh segmen dapat mengambang di permukaan air laut, yang prosesnya ditunjukkan oleh **Gambar 4.64** dan **Gambar 4.65**.



Gambar 4. 64 Segmen Terowongan yang Telah Siap untuk Ditransportasikan (sumber: Wikipedia.com)



Gambar 4. 65 Proses Pembanjiran Segmen terowongan Sebelum Dipindahkan (sumber: <http://www.popularmechanics.com>)

Setelah dipastikan segmen terowongan telah tidak mengalami kebocoran air, maka segmen telah siap untuk dipindahkan. Pemindahan segmen akan dibantu oleh setidaknya 4 kapal yang akan menarik segmen terowongan ini. **Gambar 4.66** segmen akan dipindahkan menuju rute terowongan.

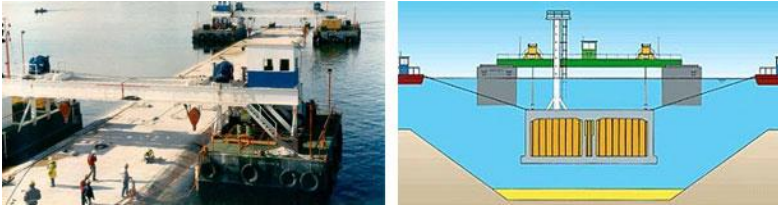


Gambar 4. 66 Proses Transportasi Segmen Terowongan (sumber: <http://blog.ramboll.com>)

5. Peletakan segmen di tempat yang telah disiapkan

Setelah segmen terowongan telah berada tepat di atas parit yang telah disiapkan sebelumnya, segmen telah siap untuk

ditenggelamkan. Untuk membantu menenggelamkan segmen terowongan ini perlu pemberat yang harus ditambahkan kedalam segmen sehingga dapat tenggelam. Air pemberat akan di isi pada tempat yang telah disiapkan didalam segmen terowongan. Proses pennenggelam segmen dapat dilihat pada **Gambar 4.67**.



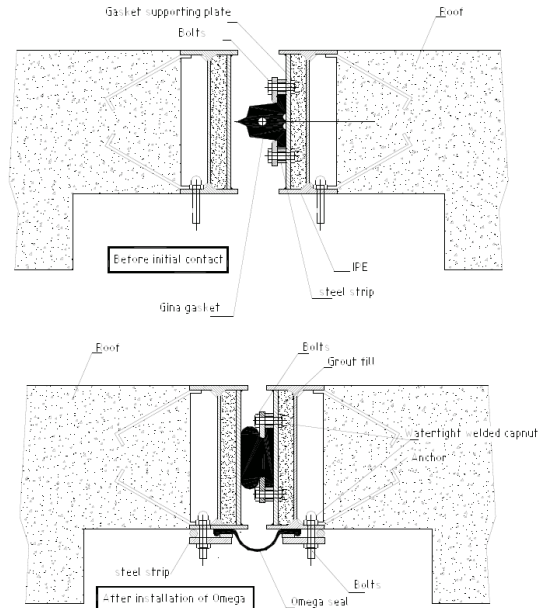
Gambar 4. 67 Proses penenggelaman Segmen Terowongan (sumber: <http://blog.ramboll.com>)

6. Proses penghubungan sambungan antar segmen

Proses ini akan dilakukan setelah 2 segmen telah di atur letak segmennya. Pada bagian hubungan antar segmen adabagian yang sengaja di kosongkan sehingga dapat terisi oleh air. Proses penyambungannya adalah dengan meletakkan 2 segmen sangat berdekatan sehingga sambungan karet antar segmen telah terhubung. Kemudian, air yang berada diruang tersebut akan dipompa keluar sehingga sambungan karet yang telah terhubung sebelumnya akan tersatu dengan sempurna. **Gambar 4.68** akan menunjukan proses penghubungan sambungan karet dan **Gambar 4.69** menunjukan detail dari sambungan karet jenis *rubber gasket* pada ujung segmen yang sering digunakan pada sambungan segmen terowongan.



Gambar 4. 68 Proses Penyambungan antar Segmen dengan Sambungan (sumber: Gina Gasket, Trelleborg)



Gambar 4. 69 Detail Sambungan *Rubber Gasket* (sumber: Gina Gasket, Trelleborg)

7. Penimbunan kembali dengan *backfill*

Segmen yang telah terpasang akan ditimbun setelah segmen telah terhubung dengan sempurna. Timbunan segmen terowongan akan ditimbun sehingga akan terlindungi dari arus laut yang terjadi pada didasar laut. selain itu, tidak memungkinkan membiarkan air laut tetap berada didalam segmen terowongan untuk memberikan pemberat, sehingga perlu dicarikan material lain yang dapat memberikan pemberat pada segmen dari luar terowongan. Sehingga bagian luar segmen akan ditimbun untuk memberikan berat tambahan kepada segmen terowongan sehingga dapat berada didalam secara permanen. *Backfill* ini akan mayoritas terdiri dari lapisan batu dan pasir.

- b. Pelaksanaan Pembangunan *Approach* pada segmen yang dikalkulasi.

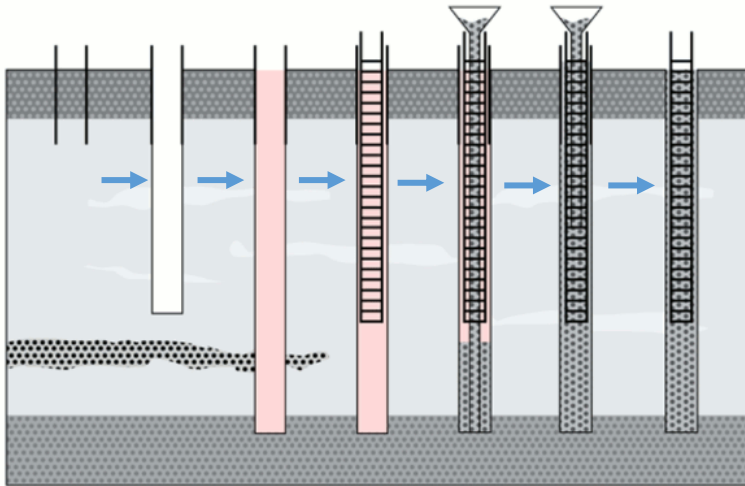
Langkah Langkah pekerjaan

1. Pembersihan lahan

Langkah awal untuk memulai pembuatan *approach* adalah pembersihan lahan di sekitar rute. Di rute ini akan digali akan dibebaskan terlebih dahulu sehingga tidak ada yang mengganggu kegiatan pelaksanaan berikutnya. Bila direncanakan adanya pelat penutup di atas terowongan, tanah akan digali terlebih dahulu untuk memberikan tempat bagi pelat penutup terowongan, seperti dalam model 2 tanah akan digali sedalam 1 meter, dan pada model 3 tanah akan digali sedalam 3 meter.

2. Pengecoran Bored Pile

Proses berikutnya setelah lahan telah dibebaskan adalah Pembuatan *bored pile*. tempat yang akan dibuat *bored pile* akan dibor terlebih dahulu, untuk menyiapkan ruang untuk tulangan dan campuran beton yang telah disiapkan. Seraya proses penggalian dilakukan lubang tersebut akan diisi dengan *slurry* agar lubang tersebut tetap dapat mempertahankan bentuknya. Setelah menembus kedalaman yang diinginkan, lubang tersebut akan diisi dengan tulangan *bored pile* yang telah direncanakan sebelumnya. Kemudian, campuran beton akan dimasukan kedalam lubang. Karena berat volume beton lebih berat maka campuran *slurry* tersebut akan terangkat dan keluar dari lubang. Prosesnya akan dijelaskan pada **Gambar 4.70**.



Gambar 4. 70 Proses Pembuatan *Bored Pile*

Proses ini akan berulang hingga bored pile sampai susunan ini membentuk seperti dinding. *Bored pile* direncanakan untuk berhimpitan 1 dengan yang lainnya.

3. Pembuatan Pelat Penutup.

Pada pembuatan model 2 dan model 3, ujung bored pile akan ditutup oleh pelat, sehingga bagian atasnya dapat digunakan kembali sebagai jalan. Lebihan tulangan *bored pile* akan dibuat sebagai panjang penyaluran dari pelat yang di atasnya sehingga dapat pelat dan dinding akan menyatu. Pada model 1 proses ini akan dilewati untuk memberikan ruang bebas pada kendaraan yang melewati terowongan ini.

4. *Dewatering*

Tinggi muka air tanah akan tetap berada di atas elevasi penggalian, sehingga pada proses penggalian air tetap akan menggenangi seluruh terowongan yang telah digali. Untuk menghindari hal tersebut, air tanah akan dipompa terlebih dahulu hingga elevasi muka air tanah akan berada dibawah elevasi tanah setelah proses penggalian dilakukan. memompa

air ini akan dilakukan terus hingga pelat lantai kendaraan telah selesai dibangun.

5. Penggalian terowongan

Rute jalan akan berada dibawah tanah, sehingga untuk mendapatkan kelandaian tersebut tanah akan digali sehingga seluruh terowongan dapat terhubung. Tanah akan gali hingga elevasi terowongan sesuai dengan yang diinginkan dan sesuai elevasi dari jalan yang telah direncanakan. Pada model 3 setelah penggalian fase pertama selesai akan kembali ke langkah 3 agar dapat membangun lantai kendaraan dibawahnya.

6. Pemasangan *waterproofing* dan Pembuatan pelat lantai kendaraan

Untuk memastikan bahwa segmen terowongan benar benar tidak ada air yang merembas dari dinding dan pelat, pemasangan *water proofing* sangat diperlukan. *Waterproofing* dapat berupa lapisan kedap air ataupun menggunakan cat yang kedap air.

Sebelum pelat kendaraan bawah dibuat, lapisan tanah dibawah pelat tersebut akan dilapisi dengan lapisan kedap air. Tujuannya adalah untuk menghindari kerusakan struktur pelat dan juga menghindari campuran beton ini akan tercampur oleh dengan material tanah dibawahnya

7. Finishing

Setelah semua kegiatan selesai, maka pelat lantai akan dilakukan proses *finishing*. Proses ini akan membuat aspal untuk jalan raya, pembuatan jalan rel, pemasangan lampu dsb.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan untuk menuntup Laporan Tugas Akhir ini, sebagai Berikut

1. Rute yang disarankan untuk membangun terowongan bawah laut dengan tujuan menghubungkan pulau Jawa dan pulau Madura seperti pada **Gambar 4.1**.
2. Rute, elevasi dan kelandaian jalan akan direncanakan seperti pada **Gambar 4.6**.
3. Bentuk struktur dari terowongan akan mengakomodasi kendaraan pribadi, truk dan jalur rel kereta api. Struktur terowongan di bawah laut akan direncanakan 2 ruang untuk jalan raya, 2 ruang untuk jalan rel dan 2 ruang darurat. Sehingga, bentuk struktur dari terowongan seperti pada **Gambar 4.9**.
4. *Approach* terowongan di sisi pulau Jawa akan menggunakan *soldier pile* sebagai dinding penahan tanah dengan kedalaman 23 meter pada model 1, 30 meter pada model 2 dan 55 meter untuk model 3. Model-model *approach* yang direncanakan dapat dilihat pada **Gambar 4.17** hingga **Gambar 4.18**.
5. Proses pelaksanaan dari pembuatan terowongan yang berada dibawah laut akan adalah sebagai berikut:
 1. Melakukan pabrikan dari segmen terowongan dan pengecekan kebocoran;
 2. *Dredging* di dasa laut untuk untuk peletakan segmen terowongan;
 3. Peletakan pondasi lajur di tempat segmen;
 4. Transportasi Segmen ke Lokasi;
 5. Peletakan segmen di tempat yang telah disiapkan;
 6. Proses penghubungan sambungan antar segmen;
 7. Penimbunan kembali dengan *backfill*.

Sedangkan pada proses pembangunan *approach* terowongan akan mengikuti proses sebagai berikut

1. Pembersihan lahan
2. Pemasangan Bored Pile
3. Pembuatan Pelat Penutup
4. *Dewatering*
5. Penggalian
6. Pemasangan Water Proofing dan Pelat Lantai
7. Finishing

5.2. Saran

Berdasarkan proses analisa dan pembuatan laporan ini, penulis menyarankan untuk

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai perencanaan terowongan bawah laut jenis *Immersed Tunnel*;
2. Data tanah untuk perencanaan dinding penahan tanah ini diharapkan memiliki data modulus elastisitas tanah sehingga perencanaan sesuai dengan yang sebenarnya.
3. Diperlukan pembuatan program Iterasi dari metode perhitungan dinding penahan tanah dengan *stress and deflection: Beam on Elastic Foundation* dengan gap yang lebih kecil, *coefisien of subgrade reaction*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2013). **Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)**. Jakarta: BSNI.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). **Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)**. Jakarta: BSNI.
- Bowles , J. E. (1996). **Foundation Analysis And Design**. Singapore: The McGraw-Hill Companies.
- Das, B. M. (1995). **Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)**. (N. Endah, & I. B. Mochtar, Trans.) Surabaya: Erlangga.
- Das, B. M. (2007). **Principle of Foundation Engineering**. Toronto: Nelson.
- Menteri Pekerjaan Umum. (2011). **Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor :19/PRT/M/2011: Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan**. Jakarta: Pekerjaan Umum.
- Ou, C.-Y. (1954). **Deep Excavation Theory and Practice**. London: Taylor & Francis Group.
- Peraturan Menteri Perhubungan. (2012). **Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api**. Jakarta: Menteri Perhubungan Indonesia.
- Principal Investigators. (2009). **Technical Manual For Design and Construction of Road Tunnels - Civil Elements**. New York: Parsons Brinckerhoff.
- T.R. Kuesel and Bickel. (1982). **Tunnel Engineering Handbook**. New York: Nostrad Reihold Company.
- Wahyudi, H. (1999). **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya: ITS.

**** (Halaman Sengaja Dikosongkan) ****

LAMPIRAN

Perhitungan Iterasi pada Model 1

Iterasi 1

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.84	0.0000	885.0	-3.9	0.84	0.84	yes
1	2.24	0.0000	1770.0	-7.3	2.24	2.24	yes
2	2.98	0.0000	1770.0	-6.5	2.98	2.98	yes
3	3.74	0.0000	2040.0	-10.3	3.74	3.74	yes
4	4.58	0.0000	2130.0	-10.9	4.58	4.58	yes
5	5.40	0.0000	2242.5	-12.0	5.40	5.40	yes
6	6.14	0.0000	2280.0	-11.9	6.14	6.14	yes
7	6.89	0.0000	2325.0	-11.9	6.89	6.89	yes
8	7.66	0.0000	2340.0	-11.3	7.66	7.66	yes
9	8.45	0.0000	3360.0	-20.7	8.45	8.45	yes
10	9.30	0.0000	3700.0	-23.2	9.30	9.30	yes
11	10.16	0.0000	3670.0	-21.6	10.16	10.16	yes
12	11.04	0.0000	3660.0	-20.5	11.04	11.04	yes
13	11.99	0.0000	3645.0	-19.1	11.99	11.99	yes
14	13.08	0.0000	3640.0	-17.9	13.08	13.08	yes
15	14.13	0.0000	3775.0	-20.2	14.13	14.13	yes
16	15.02	0.0000	3820.0	-20.5	15.02	15.02	yes
17	15.91	0.0000	3820.0	-19.6	15.91	15.91	yes
18	16.80	0.0000	3820.0	-18.7	16.80	16.80	yes
19	17.69	0.0000	3820.0	-17.8	17.69	17.69	yes
20	18.58	0.0000	3820.0	-16.9	18.58	18.58	yes
21	19.47	0.0000	3820.0	-16.0	19.47	19.47	yes
22	20.36	0.0000	3820.0	-15.1	20.36	20.36	yes
23	10.51	0.0000	1910.0	-7.1	10.51	10.51	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
8.5	0.39	0.0000	2680.0	5.81	0.39	0.39	yes
9.5	1.22	0.0000	3700.0	7.80	1.22	1.22	yes
10.5	2.07	0.0000	3690.0	8.62	2.07	2.07	yes
11.5	2.94	0.0000	3660.0	9.42	2.94	2.94	yes
12.5	3.84	0.0000	3655.0	10.30	3.84	3.84	yes
13.5	4.88	0.0000	3640.0	11.30	4.88	4.88	yes
14.5	5.97	0.0000	3685.0	12.51	5.97	5.97	yes
15.5	6.92	0.0000	3820.0	13.80	6.92	6.92	yes
16.5	7.81	0.0000	3820.0	14.69	7.81	7.81	yes
17.5	8.70	0.0000	3820.0	15.58	8.70	8.70	yes
18.5	9.59	0.0000	3820.0	16.47	9.59	9.59	yes
19.5	10.48	0.0000	3820.0	17.36	10.48	10.48	yes
20.5	11.36	0.0000	3820.0	18.24	11.36	11.36	yes
21.5	12.25	0.0000	3820.0	19.13	12.25	12.25	yes
22.5	13.14	0.0000	3820.0	20.02	13.14	13.14	yes

Deformasi pada Iterasi 1

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.00374	8.5	-0.00257
1	0.00362	9.5	-0.00239
2	0.00351	10.5	-0.00222
3	0.00339	11.5	-0.00205
4	0.00326	12.5	-0.00188
5	0.00313	13.5	-0.00172
6	0.00298	14.5	-0.00156
7	0.00282	15.5	-0.0014
8	0.00266	16.5	-0.00124
9	0.00248	17.5	-0.00107
10	0.00231	18.5	-0.0009
11	0.00213	19.5	-0.00072
12	0.00197	20.5	-0.00052
13	0.0018	21.5	-0.00032
14	0.00164	22.5	-0.00011
15	0.00148		
16	0.00132		
17	0.00116		
18	0.00099		
19	0.00081		
20	0.00062		
21	0.00042		
22	0.00022		
23	0		

Iterasi 2

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8422	0.0037	885.0	-3.91	-2.47	0.00	no
1	2.2379	0.0036	1770	-7.26	-4.17	0.00	no
2	2.9759	0.0035	1770	-6.52	-3.23	0.00	no
3	3.7437	0.0034	2040	-10.26	-3.16	0.00	no
4	4.5847	0.0033	2130	-10.92	-2.36	0.00	no
5	5.399	0.0031	2242.5	-11.98	-1.61	0.00	no
6	6.1396	0.0030	2280	-11.86	-0.66	0.00	no
7	6.8869	0.0028	2325	-11.86	0.32	0.32	yes
8	7.6591	0.0027	2340	-11.34	1.44	1.44	yes
9	8.4536	0.0025	3360	-20.67	0.12	0.12	yes
10	9.3002	0.0023	3700	-23.20	0.77	0.77	yes
11	10.16	0.0021	3670	-21.59	2.33	2.33	yes
12	11.044	0.0020	3660	-20.46	3.85	3.85	yes
13	11.991	0.0018	3645	-19.13	5.43	5.43	yes
14	13.084	0.0016	3640	-17.92	7.11	7.11	yes
15	14.125	0.0015	3775	-20.25	8.53	8.53	yes
16	15.021	0.0013	3820	-20.48	9.97	9.97	yes
17	15.911	0.0012	3820	-19.59	11.49	11.49	yes
18	16.8	0.0010	3820	-18.70	13.03	13.03	yes
19	17.69	0.0008	3820	-17.81	14.60	14.60	yes
20	18.579	0.0006	3820	-16.92	16.20	16.20	yes
21	19.468	0.0004	3820	-16.03	17.85	17.85	yes
22	20.358	0.0002	3820	-15.14	19.53	19.53	yes
23	10.512	0.0000	1910	-7.13	10.51	10.51	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
8.5	0.4	0.0026	2680.0	5.8	7.27	5.81	no
9.5	1.2	0.0024	3700.0	7.8	10.07	7.80	no
10.5	2.1	0.0022	3690.0	8.6	10.25	8.62	no
11.5	2.9	0.0020	3660.0	9.4	10.44	9.42	no
12.5	3.8	0.0019	3655.0	10.3	10.71	10.30	no
13.5	4.9	0.0017	3640.0	11.3	11.14	11.14	yes
14.5	6.0	0.0016	3685.0	12.5	11.72	11.72	yes
15.5	6.9	0.0014	3820.0	13.8	12.27	12.27	yes
16.5	7.8	0.0012	3820.0	14.7	12.54	12.54	yes
17.5	8.7	0.0011	3820.0	15.6	12.80	12.80	yes
18.5	9.6	0.0009	3820.0	16.5	13.02	13.02	yes
19.5	10.5	0.0007	3820.0	17.4	13.21	13.21	yes
20.5	11.4	0.0005	3820.0	18.2	13.36	13.36	yes
21.5	12.3	0.0003	3820.0	19.1	13.48	13.48	yes
22.5	13.1	0.0001	3820.0	20.0	13.56	13.56	yes

Deformasi pada Iterasi 2

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.00974	8.5	-0.00443
1	0.0091	9.5	-0.00388
2	0.00846	10.5	-0.00338
3	0.00782	11.5	-0.00293
4	0.00718	12.5	-0.00253
5	0.00654	13.5	-0.00217
6	0.00592	14.5	-0.00185
7	0.0053	15.5	-0.00157
8	0.00471	16.5	-0.00132
9	0.00415	17.5	-0.00109
10	0.00363	18.5	-0.00088
11	0.00315	19.5	-0.00068
12	0.00272	20.5	-0.00049
13	0.00234	21.5	-0.00029
14	0.002	22.5	-9.7E-05
15	0.0017		
16	0.00144		
17	0.0012		
18	0.00098		
19	0.00078		
20	0.00058		
21	0.00039		
22	0.0002		
23	0		

Iterasi 3

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8422	0.0097	885.0	-3.91	-7.78	0.00	no
1	2.2379	0.0091	1770	-7.26	-13.86	0.00	no
2	2.9759	0.0085	1770	-6.52	-11.99	0.00	no
3	3.7437	0.0078	2040	-10.26	-12.20	0.00	no
4	4.5847	0.0072	2130	-10.92	-10.70	0.00	no
5	5.399	0.0065	2242.5	-11.98	-9.27	0.00	no
6	6.1396	0.0059	2280	-11.86	-7.35	0.00	no
7	6.8869	0.0053	2325	-11.86	-5.44	0.00	no
8	7.6591	0.0047	2340	-11.34	-3.36	0.00	no
9	8.4536	0.0041	3360	-20.67	-5.49	0.00	no
10	9.3002	0.0036	3700	-23.20	-4.12	0.00	no
11	10.16	0.0032	3670	-21.59	-1.41	0.00	no
12	11.044	0.0027	3660	-20.46	1.08	1.08	yes
13	11.991	0.0023	3645	-19.13	3.46	3.46	yes
14	13.084	0.0020	3640	-17.92	5.80	5.80	yes
15	14.125	0.0017	3775	-20.25	7.69	7.69	yes
16	15.021	0.0014	3820	-20.48	9.52	9.52	yes
17	15.911	0.0012	3820	-19.59	11.32	11.32	yes
18	16.8	0.0010	3820	-18.70	13.04	13.04	yes
19	17.69	0.0008	3820	-17.81	14.71	14.71	yes
20	18.579	0.0006	3820	-16.92	16.35	16.35	yes
21	19.468	0.0004	3820	-16.03	17.97	17.97	yes
22	20.358	0.0002	3820	-15.14	19.61	19.61	yes
23	20.512	0.0000	1910	-7.13	10.51	10.51	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
8.5	0.4	0.0044	2680.0	5.8	12.25	5.81	no
9.5	1.2	0.0039	3700.0	7.8	15.58	7.80	no
10.5	2.1	0.0034	3690.0	8.6	14.55	8.62	no
11.5	2.9	0.0029	3660.0	9.4	13.67	9.42	no
12.5	3.8	0.0025	3655.0	10.3	13.07	10.30	no
13.5	4.9	0.0022	3640.0	11.3	12.76	11.30	no
14.5	6.0	0.0018	3685.0	12.5	12.78	12.51	no
15.5	6.9	0.0016	3820.0	13.8	12.90	12.90	yes
16.5	7.8	0.0013	3820.0	14.7	12.84	12.84	yes
17.5	8.7	0.0011	3820.0	15.6	12.86	12.86	yes
18.5	9.6	0.0009	3820.0	16.5	12.95	12.95	yes
19.5	10.5	0.0007	3820.0	17.4	13.08	13.08	yes
20.5	11.4	0.0005	3820.0	18.2	13.23	13.23	yes
21.5	12.3	0.0003	3820.0	19.1	13.37	13.37	yes
22.5	13.1	0.0001	3820.0	20.0	13.51	13.51	yes

Deformasi pada Iterasi 3

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.01617	8.5	-0.00755
1	0.01514	9.5	-0.00662
2	0.01411	10.5	-0.00575
3	0.01308	11.5	-0.00493
4	0.01206	12.5	-0.00418
5	0.01103	13.5	-0.00351
6	0.01002	14.5	-0.00292
7	0.00901	15.5	-0.00239
8	0.00803	16.5	-0.00194
9	0.00708	17.5	-0.00155
10	0.00618	18.5	-0.00121
11	0.00533	19.5	-0.0009
12	0.00455	20.5	-0.00063
13	0.00384	21.5	-0.00037
14	0.0032	22.5	-0.00012
15	0.00265		
16	0.00216		
17	0.00174		
18	0.00137		
19	0.00105		
20	0.00076		
21	0.0005		
22	0.00024		
23	0		

Iterasi 4

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8422	0.0162	885.0	-3.91	-13.47	0.00	no
1	2.2379	0.0151	1770	-7.26	-24.57	0.00	no
2	2.9759	0.0141	1770	-6.52	-22.01	0.00	no
3	3.7437	0.0131	2040	-10.26	-22.95	0.00	no
4	4.5847	0.0121	2130	-10.92	-21.09	0.00	no
5	5.399	0.0110	2242.5	-11.98	-19.34	0.00	no
6	6.1396	0.0100	2280	-11.86	-16.69	0.00	no
7	6.8869	0.0090	2325	-11.86	-14.06	0.00	no
8	7.6591	0.0080	2340	-11.34	-11.13	0.00	no
9	8.4536	0.0071	3360	-20.67	-15.34	0.00	no
10	9.3002	0.0062	3700	-23.20	-13.55	0.00	no
11	10.16	0.0053	3670	-21.59	-9.40	0.00	no
12	11.044	0.0045	3660	-20.46	-5.59	0.00	no
13	11.991	0.0038	3645	-19.13	-2.00	0.00	no
14	13.084	0.0032	3640	-17.92	1.42	1.42	yes
15	14.125	0.0026	3775	-20.25	4.14	4.14	yes
16	15.021	0.0022	3820	-20.48	6.77	6.77	yes
17	15.911	0.0017	3820	-19.59	9.27	9.27	yes
18	16.8	0.0014	3820	-18.70	11.56	11.56	yes
19	17.69	0.0010	3820	-17.81	13.68	13.68	yes
20	18.579	0.0008	3820	-16.92	15.67	15.67	yes
21	19.468	0.0005	3820	-16.03	17.58	17.58	yes
22	20.358	0.0002	3820	-15.14	19.43	19.43	yes
23	10.512	0.0000	1910	-7.13	10.51	10.51	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
8.5	0.4	0.0076	2680.0	5.8	20.62	5.81	no
9.5	1.2	0.0066	3700.0	7.8	25.72	7.80	no
10.5	2.1	0.0057	3690.0	8.6	23.27	8.62	no
11.5	2.9	0.0049	3660.0	9.4	20.98	9.42	no
12.5	3.8	0.0042	3655.0	10.3	19.12	10.30	no
13.5	4.9	0.0035	3640.0	11.3	17.66	11.30	no
14.5	6.0	0.0029	3685.0	12.5	16.71	12.51	no
15.5	6.9	0.0024	3820.0	13.8	16.06	13.80	no
16.5	7.8	0.0019	3820.0	14.7	15.22	14.69	no
17.5	8.7	0.0015	3820.0	15.6	14.61	14.61	yes
18.5	9.6	0.0012	3820.0	16.5	14.19	14.19	yes
19.5	10.5	0.0009	3820.0	17.4	13.92	13.92	yes
20.5	11.4	0.0006	3820.0	18.2	13.75	13.75	yes
21.5	12.3	0.0004	3820.0	19.1	13.66	13.66	yes
22.5	13.1	0.0001	3820.0	20.0	13.59	13.59	yes

Deformasi pada Iterasi 4

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.01872	8.5	-0.00902
1	0.01756	9.5	-0.00797
2	0.01641	10.5	-0.00696
3	0.01525	11.5	-0.00602
4	0.0141	12.5	-0.00515
5	0.01294	13.5	-0.00435
6	0.0118	14.5	-0.00363
7	0.01067	15.5	-0.00299
8	0.00956	16.5	-0.00243
9	0.00849	17.5	-0.00194
10	0.00746	18.5	-0.00151
11	0.00648	19.5	-0.00112
12	0.00557	20.5	-0.00078
13	0.00474	21.5	-0.00046
14	0.00398	22.5	-0.00015
15	0.0033		
16	0.0027		
17	0.00218		
18	0.00172		
19	0.00131		
20	0.00095		
21	0.00061		
22	0.0003		
23	0		

Iterasi 5

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8422	0.0187	885.0	-3.91	-15.72	0.00	no
1	2.2379	0.0176	1770	-7.26	-28.85	0.00	no
2	2.9759	0.0164	1770	-6.52	-26.06	0.00	no
3	3.7437	0.0152	2040	-10.26	-27.36	0.00	no
4	4.5847	0.0141	2130	-10.92	-25.44	0.00	no
5	5.399	0.0129	2242.5	-11.98	-23.63	0.00	no
6	6.1396	0.0118	2280	-11.86	-20.76	0.00	no
7	6.8869	0.0107	2325	-11.86	-17.92	0.00	no
8	7.6591	0.0096	2340	-11.34	-14.72	0.00	no
9	8.4536	0.0085	3360	-20.67	-20.06	0.00	no
10	9.3002	0.0075	3700	-23.20	-18.29	0.00	no
11	10.16	0.0065	3670	-21.59	-13.63	0.00	no
12	11.044	0.0056	3660	-20.46	-9.35	0.00	no
13	11.991	0.0047	3645	-19.13	-5.28	0.00	no
14	13.084	0.0040	3640	-17.92	-1.40	0.00	no
15	14.125	0.0033	3775	-20.25	1.66	1.66	yes
16	15.021	0.0027	3820	-20.48	4.70	4.70	yes
17	15.911	0.0022	3820	-19.59	7.59	7.59	yes
18	16.8	0.0017	3820	-18.70	10.25	10.25	yes
19	17.69	0.0013	3820	-17.81	12.69	12.69	yes
20	18.579	0.0009	3820	-16.92	14.96	14.96	yes
21	19.468	0.0006	3820	-16.03	17.12	17.12	yes
22	20.358	0.0003	3820	-15.14	19.21	19.21	yes
23	10.512	0.0000	1910	-7.13	10.51	10.51	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
8.5	0.4	0.0090	2680.0	5.8	24.56	5.81	no
9.5	1.2	0.0080	3700.0	7.8	30.69	7.80	no
10.5	2.1	0.0070	3690.0	8.6	27.76	8.62	no
11.5	2.9	0.0060	3660.0	9.4	24.97	9.42	no
12.5	3.8	0.0051	3655.0	10.3	22.64	10.30	no
13.5	4.9	0.0043	3640.0	11.3	20.70	11.30	no
14.5	6.0	0.0036	3685.0	12.5	19.35	12.51	no
15.5	6.9	0.0030	3820.0	13.8	18.35	13.80	no
16.5	7.8	0.0024	3820.0	14.7	17.09	14.69	no
17.5	8.7	0.0019	3820.0	15.6	16.10	15.58	no
18.5	9.6	0.0015	3820.0	16.5	15.34	15.34	yes
19.5	10.5	0.0011	3820.0	17.4	14.77	14.77	yes
20.5	11.4	0.0008	3820.0	18.2	14.33	14.33	yes
21.5	12.3	0.0005	3820.0	19.1	13.99	13.99	yes
22.5	13.1	0.0001	3820.0	20.0	13.70	13.70	yes

Deformasi pada Iterasi 5

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.01919	8.5	-0.0093
1	0.01801	9.5	-0.00823
2	0.01683	10.5	-0.0072
3	0.01565	11.5	-0.00624
4	0.01448	12.5	-0.00534
5	0.0133	13.5	-0.00452
6	0.01214	14.5	-0.00378
7	0.01099	15.5	-0.00312
8	0.00986	16.5	-0.00254
9	0.00876	17.5	-0.00203
10	0.00771	18.5	-0.00158
11	0.00671	19.5	-0.00118
12	0.00578	20.5	-0.00081
13	0.00492	21.5	-0.00048
14	0.00414	22.5	-0.00015
15	0.00344		
16	0.00282		
17	0.00228		
18	0.0018		
19	0.00137		
20	0.00099		
21	0.00064		
22	0.00031		
23	0		

Iterasi 6

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8422	0.0192	885.0	-3.91	-16.14	0.00	no
1	2.2379	0.0180	1770	-7.26	-29.64	0.00	no
2	2.9759	0.0168	1770	-6.52	-26.82	0.00	no
3	3.7437	0.0157	2040	-10.26	-28.19	0.00	no
4	4.5847	0.0145	2130	-10.92	-26.25	0.00	no
5	5.399	0.0133	2242.5	-11.98	-24.44	0.00	no
6	6.1396	0.0121	2280	-11.86	-21.54	0.00	no
7	6.8869	0.0110	2325	-11.86	-18.66	0.00	no
8	7.6591	0.0099	2340	-11.34	-15.41	0.00	no
9	8.4536	0.0088	3360	-20.67	-20.98	0.00	no
10	9.3002	0.0077	3700	-23.20	-19.22	0.00	no
11	10.16	0.0067	3670	-21.59	-14.47	0.00	no
12	11.044	0.0058	3660	-20.46	-10.11	0.00	no
13	11.991	0.0049	3645	-19.13	-5.95	0.00	no
14	13.084	0.0041	3640	-17.92	-1.99	0.00	no
15	14.125	0.0034	3775	-20.25	1.13	1.13	yes
16	15.021	0.0028	3820	-20.48	4.24	4.24	yes
17	15.911	0.0023	3820	-19.59	7.22	7.22	yes
18	16.8	0.0018	3820	-18.70	9.94	9.94	yes
19	17.69	0.0014	3820	-17.81	12.45	12.45	yes
20	18.579	0.0010	3820	-16.92	14.79	14.79	yes
21	19.468	0.0006	3820	-16.03	17.01	17.01	yes
22	20.358	0.0003	3820	-15.14	19.16	19.16	yes
23	10.512	0.0000	1910	-7.13	10.51	10.51	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
8.5	0.4	0.0093	2680.0	5.8	25.32	5.81	no
9.5	1.2	0.0082	3700.0	7.8	31.66	7.80	no
10.5	2.1	0.0072	3690.0	8.6	28.64	8.62	no
11.5	2.9	0.0062	3660.0	9.4	25.77	9.42	no
12.5	3.8	0.0053	3655.0	10.3	23.36	10.30	no
13.5	4.9	0.0045	3640.0	11.3	21.34	11.30	no
14.5	6.0	0.0038	3685.0	12.5	19.91	12.51	no
15.5	6.9	0.0031	3820.0	13.8	18.84	13.80	no
16.5	7.8	0.0025	3820.0	14.7	17.51	14.69	no
17.5	8.7	0.0020	3820.0	15.6	16.44	15.58	no
18.5	9.6	0.0016	3820.0	16.5	15.61	15.61	yes
19.5	10.5	0.0012	3820.0	17.4	14.97	14.97	yes
20.5	11.4	0.0008	3820.0	18.2	14.47	14.47	yes
21.5	12.3	0.0005	3820.0	19.1	14.07	14.07	yes
22.5	13.1	0.0002	3820.0	20.0	13.73	13.73	yes

Deformasi pada Iterasi 6

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.01919	8.5	-0.0093
1	0.01801	9.5	-0.00823
2	0.01683	10.5	-0.0072
3	0.01565	11.5	-0.00624
4	0.01448	12.5	-0.00534
5	0.0133	13.5	-0.00452
6	0.01214	14.5	-0.00378
7	0.01099	15.5	-0.00312
8	0.00986	16.5	-0.00254
9	0.00876	17.5	-0.00203
10	0.00771	18.5	-0.00158
11	0.00671	19.5	-0.00118
12	0.00578	20.5	-0.00081
13	0.00492	21.5	-0.00048
14	0.00414	22.5	-0.00015
15	0.00344		
16	0.00282		
17	0.00228		
18	0.0018		
19	0.00137		
20	0.00099		
21	0.00064		
22	0.00031		
23	0		

Perhitungan Iterasi pada Model 2

Iterasi 1

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.85	0.0000	870.0	0.0	0.85	0.85	yes
1	2.26	0.0000	1740.0	0.0	2.26	2.26	yes
2	3.02	0.0000	1740.0	0.0	3.02	3.02	yes
3	3.80	0.0000	1785.0	0.0	3.80	3.80	yes
4	4.62	0.0000	1800.0	0.0	4.62	4.62	yes
5	5.39	0.0000	2227.5	0.0	5.39	5.39	yes
6	6.06	0.0000	2370.0	0.0	6.06	6.06	yes
7	6.75	0.0000	2212.5	0.0	6.75	6.75	yes
8	7.52	0.0000	2160.0	0.0	7.52	7.52	yes
9	8.36	0.0000	3285.0	0.0	8.36	8.36	yes
10	9.38	0.0000	3660.0	0.0	9.38	9.38	yes
11	10.37	0.0000	3645.0	0.0	10.37	10.37	yes
12	11.25	0.0000	3640.0	0.0	11.25	11.25	yes
13	12.13	0.0000	3655.0	0.0	12.13	12.13	yes
14	13.02	0.0000	3660.0	0.0	13.02	13.02	yes
15	13.92	0.0000	3840.0	0.0	13.92	13.92	yes
16	14.84	0.0000	3900.0	0.0	14.84	14.84	yes
17	15.76	0.0000	3900.0	0.0	15.76	15.76	yes
18	16.68	0.0000	3900.0	0.0	16.68	16.68	yes
19	17.60	0.0000	3900.0	0.0	17.60	17.60	yes
20	18.53	0.0000	3900.0	0.0	18.53	18.53	yes
21	19.45	0.0000	3900.0	0.0	19.45	19.45	yes
22	20.37	0.0000	3900.0	0.0	20.37	20.37	yes
23	21.29	0.0000	3900.0	0.0	21.29	21.29	yes
24	22.21	0.0000	3900.0	0.0	22.21	22.21	yes
25	23.14	0.0000	3900.0	0.0	23.14	23.14	yes
26	24.06	0.0000	3900.0	0.0	24.06	24.06	yes
27	24.98	0.0000	3900.0	0.0	24.98	24.98	yes
28	25.90	0.0000	3900.0	0.0	25.90	25.90	yes
29	26.82	0.0000	3900.0	0.0	26.82	26.82	yes
30	13.76	0.0000	1950.0	0.0	13.76	13.76	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
9.5	0.45	0.0000	3660.0	8.39	0.45	0.45	yes
10.5	1.49	0.0000	3655.0	9.41	1.49	1.49	yes
11.5	2.46	0.0000	3640.0	10.34	2.46	2.46	yes
12.5	3.34	0.0000	3645.0	11.23	3.34	3.34	yes
13.5	4.23	0.0000	3660.0	12.16	4.23	4.23	yes
14.5	5.11	0.0000	3720.0	13.23	5.11	5.11	yes
15.5	6.03	0.0000	3900.0	14.69	6.03	6.03	yes
16.5	6.95	0.0000	3900.0	15.61	6.95	6.95	yes
17.5	7.87	0.0000	3900.0	16.53	7.87	7.87	yes
18.5	8.79	0.0000	3900.0	17.45	8.79	8.79	yes
19.5	9.71	0.0000	3900.0	18.37	9.71	9.71	yes
20.5	10.64	0.0000	3900.0	19.30	10.64	10.64	yes
21.5	11.56	0.0000	3900.0	20.22	11.56	11.56	yes
22.5	12.48	0.0000	3900.0	21.14	12.48	12.48	yes
23.5	13.40	0.0000	3900.0	22.06	13.40	13.40	yes
24.5	14.32	0.0000	3900.0	22.98	14.32	14.32	yes
25.5	15.25	0.0000	3900.0	23.91	15.25	15.25	yes
26.5	16.17	0.0000	3900.0	24.83	16.17	16.17	yes
27.5	17.09	0.0000	3900.0	25.75	17.09	17.09	yes
28.5	18.01	0.0000	3900.0	26.67	18.01	18.01	yes
29.5	18.93	0.0000	3900.0	27.59	18.93	18.93	yes

Deformasi pada Iterasi 1

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.0000	9.5	-0.00305
1	0.0007	10.5	-0.00286
2	0.0014	11.5	-0.00265
3	0.0020	12.5	-0.00244
4	0.0025	13.5	-0.00226
5	0.0028	14.5	-0.00209
6	0.0031	15.5	-0.00195
7	0.0032	16.5	-0.00184
8	0.0032	17.5	-0.00175
9	0.0031	18.5	-0.00167
10	0.0030	19.5	-0.00161
11	0.0028	20.5	-0.00156
12	0.0025	21.5	-0.0015
13	0.0023	22.5	-0.00143
14	0.0022	23.5	-0.00135
15	0.0020	24.5	-0.00124
16	0.0019	25.5	-0.0011
17	0.0018	26.5	-0.00093
18	0.0017	27.5	-0.00071
19	0.0016	28.5	-0.00045
20	0.0016	29.5	-0.00015
21	0.0015		
22	0.0015		
23	0.0014		
24	0.0013		
25	0.0012		
26	0.0010		
27	0.0008		
28	0.0006		
29	0.0003		
30	0.0000		

Iterasi 2

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8453	0	870	0	0.85	0.85	yes
1	2.2624	0.0007	1740	0	1.04	1.04	yes
2	3.0249	0.001364	1740	0	0.65	0.65	yes
3	3.802	0.001959	1785	0	0.31	0.31	yes
4	4.615	0.00246	1800	0	0.19	0.19	yes
5	5.3881	0.002845	2227.5	0	-0.95	0.00	no
6	6.0594	0.003103	2370	0	-1.29	0.00	no
7	6.7542	0.00323	2212.5	0	-0.39	0.00	no
8	7.5174	0.003231	2160.0	0	0.54	0.54	yes
9	8.358	0.003127	3285	0	-1.91	0.00	no
10	9.3804	0.002955	3660	0	-1.43	0.00	no
11	10.368	0.002752	3645	0	0.34	0.34	yes
12	11.252	0.002544	3640	0	1.99	1.99	yes
13	12.133	0.002347	3655	0	3.55	3.55	yes
14	13.02	0.00217	3660	0	5.08	5.08	yes
15	13.916	0.002018	3840	0	6.17	6.17	yes
16	14.837	0.001892	3900	0	7.46	7.46	yes
17	15.759	0.00179	3900	0	8.78	8.78	yes
18	16.681	0.001708	3900	0	10.02	10.02	yes
19	17.603	0.001642	3900	0	11.20	11.20	yes
20	18.525	0.001585	3900	0	12.34	12.34	yes
21	19.447	0.001531	3900	0	13.48	13.48	yes
22	20.369	0.00147	3900	0	14.64	14.64	yes
23	21.291	0.001397	3900	0	15.84	15.84	yes
24	22.213	0.001303	3900	0	17.13	17.13	yes
25	23.135	0.001181	3900	0	18.53	18.53	yes
26	24.057	0.001022	3900	0	20.07	20.07	yes
27	24.979	0.000824	3900	0	21.77	21.77	yes
28	25.901	0.000583	3900	0	23.63	23.63	yes
29	26.823	0.000306	3900	0	25.63	25.63	yes
30	13.757	0	1950	0	13.76	13.76	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
9.5	0.451	0.003046	3660	8.3881732	11.60	8.39	no
10.5	1.493	0.002855	3655	9.4143887	11.93	9.41	no
11.5	2.463	0.002647	3640	10.336697	12.10	10.34	no
12.5	3.342	0.002442	3645	11.23145	12.24	11.23	no
13.5	4.226	0.002255	3660	12.163541	12.48	12.16	no
14.5	5.114	0.00209	3720	13.232377	12.89	12.89	yes
15.5	6.027	0.00195	3900	14.686767	13.63	13.63	yes
16.5	6.948	0.001837	3900	15.608748	14.11	14.11	yes
17.5	7.87	0.001746	3900	16.530728	14.68	14.68	yes
18.5	8.792	0.001673	3900	17.452708	15.32	15.32	yes
19.5	9.714	0.001612	3900	18.374689	16.00	16.00	yes
20.5	10.64	0.001557	3900	19.296669	16.71	16.71	yes
21.5	11.56	0.0015	3900	20.218649	17.41	17.41	yes
22.5	12.48	0.001434	3900	21.14063	18.07	18.07	yes
23.5	13.4	0.001352	3900	22.06261	18.68	18.68	yes
24.5	14.32	0.001244	3900	22.98459	19.18	19.18	yes
25.5	15.25	0.001104	3900	23.906571	19.55	19.55	yes
26.5	16.17	0.000926	3900	24.828551	19.78	19.78	yes
27.5	17.09	0.000706	3900	25.750531	19.84	19.84	yes
28.5	18.01	0.000446	3900	26.672512	19.75	19.75	yes
29.5	18.93	0.000153	3900	27.594492	19.53	19.53	yes

Deformasi pada Iterasi 2

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0.0000	9.5	-0.00375
1	0.0008	10.5	-0.0035
2	0.0016	11.5	-0.00321
3	0.0023	12.5	-0.00291
4	0.0029	13.5	-0.00262
5	0.0034	14.5	-0.00236
6	0.0038	15.5	-0.00213
7	0.0039	16.5	-0.00195
8	0.0040	17.5	-0.00181
9	0.0038	18.5	-0.0017
10	0.0036	19.5	-0.00161
11	0.0034	20.5	-0.00154
12	0.0031	21.5	-0.00148
13	0.0028	22.5	-0.00141
14	0.0025	23.5	-0.00133
15	0.0022	24.5	-0.00122
16	0.0020	25.5	-0.00109
17	0.0019	26.5	-0.00091
18	0.0017	27.5	-0.0007
19	0.0017	28.5	-0.00044
20	0.0016	29.5	-0.00015
21	0.0015		
22	0.0014		
23	0.0014		
24	0.0013		
25	0.0012		
26	0.0010		
27	0.0008		
28	0.0006		
29	0.0003		
30	0.0000		

Iterasi 3

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8453	0	870	0	0.85	0.85	yes
1	2.2624	0.000827	1740	0	0.82	0.82	yes
2	3.0249	0.001615	1740	0	0.21	0.21	yes
3	3.802	0.002329	1785	0	-0.36	0.00	no
4	4.615	0.00294	1800	0	-0.68	0.00	no
5	5.3881	0.003421	2227.5	0	-2.23	0.00	no
6	6.0594	0.003755	2370	0	-2.84	0.00	no
7	6.7542	0.003933	2212.5	0	-1.95	0.00	no
8	7.5174	0.003958	2160.0	0	-1.03	0.00	no
9	8.358	0.003848	3285	0	-4.28	0.00	no
10	9.3804	0.003635	3660	0	-3.92	0.00	no
11	10.368	0.003361	3645	0	-1.88	0.00	no
12	11.252	0.00306	3640	0	0.11	0.11	yes
13	12.133	0.002762	3655	0	2.04	2.04	yes
14	13.02	0.002484	3660	0	3.93	3.93	yes
15	13.916	0.00224	3840	0	5.31	5.31	yes
16	14.837	0.002037	3900	0	6.89	6.89	yes
17	15.759	0.001874	3900	0	8.45	8.45	yes
18	16.681	0.001748	3900	0	9.86	9.86	yes
19	17.603	0.001651	3900	0	11.16	11.16	yes
20	18.525	0.001574	3900	0	12.39	12.39	yes
21	19.447	0.001508	3900	0	13.57	13.57	yes
22	20.369	0.001443	3900	0	14.74	14.74	yes
23	21.291	0.00137	3900	0	15.95	15.95	yes
24	22.213	0.001278	3900	0	17.23	17.23	yes
25	23.135	0.00116	3900	0	18.61	18.61	yes
26	24.057	0.001006	3900	0	20.13	20.13	yes
27	24.979	0.000811	3900	0	21.82	21.82	yes
28	25.901	0.000575	3900	0	23.66	23.66	yes
29	26.823	0.000302	3900	0	25.65	25.65	yes
30	13.757	0	1950	0	13.76	13.76	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
9.5	0.451	0.003751	3660	8.3881732	14.18	8.39	no
10.5	1.493	0.003503	3655	9.4143887	14.30	9.41	no
11.5	2.463	0.003211	3640	10.336697	14.15	10.34	no
12.5	3.342	0.002909	3645	11.23145	13.94	11.23	no
13.5	4.226	0.002619	3660	12.163541	13.81	12.16	no
14.5	5.114	0.002356	3720	13.232377	13.88	13.23	no
15.5	6.027	0.002132	3900	14.686767	14.34	14.34	yes
16.5	6.948	0.00195	3900	15.608748	14.55	14.55	yes
17.5	7.87	0.001806	3900	16.530728	14.91	14.91	yes
18.5	8.792	0.001695	3900	17.452708	15.40	15.40	yes
19.5	9.714	0.001609	3900	18.374689	15.99	15.99	yes
20.5	10.64	0.001539	3900	19.296669	16.64	16.64	yes
21.5	11.56	0.001475	3900	20.218649	17.31	17.31	yes
22.5	12.48	0.001407	3900	21.14063	17.97	17.97	yes
23.5	13.4	0.001325	3900	22.06261	18.57	18.57	yes
24.5	14.32	0.001221	3900	22.98459	19.09	19.09	yes
25.5	15.25	0.001085	3900	23.906571	19.48	19.48	yes
26.5	16.17	0.000912	3900	24.828551	19.73	19.73	yes
27.5	17.09	0.000696	3900	25.750531	19.80	19.80	yes
28.5	18.01	0.000441	3900	26.672512	19.73	19.73	yes
29.5	18.93	0.000151	3900	27.594492	19.52	19.52	yes

Deformasi pada Iterasi 3

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0	9.5	-0.00404
1	0.000888	10.5	-0.00377
2	0.001734	11.5	-0.00345
3	0.002503	12.5	-0.00311
4	0.003161	13.5	-0.00278
5	0.00368	14.5	-0.00248
6	0.004041	15.5	-0.00222
7	0.004235	16.5	-0.00201
8	0.004265	17.5	-0.00184
9	0.004148	18.5	-0.00171
10	0.003917	19.5	-0.00161
11	0.003615	20.5	-0.00154
12	0.003278	21.5	-0.00147
13	0.00294	22.5	-0.0014
14	0.002623	23.5	-0.00132
15	0.002343	24.5	-0.00121
16	0.002107	25.5	-0.00108
17	0.001918	26.5	-0.00091
18	0.001772	27.5	-0.00069
19	0.00166	28.5	-0.00044
20	0.001573	29.5	-0.00015
21	0.001502		
22	0.001434		
23	0.00136		
24	0.001268		
25	0.001151		
26	0.000998		
27	0.000806		
28	0.000572		
29	0.000301		
30	0		

Iterasi 4

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8453	0	870	0	0.85	0.85	yes
1	2.2624	0.000888	1740	0	0.72	0.72	yes
2	3.0249	0.001734	1740	0	0.01	0.01	yes
3	3.802	0.002503	1785	0	-0.67	0.00	no
4	4.615	0.003161	1800	0	-1.07	0.00	no
5	5.3881	0.00368	2227.5	0	-2.81	0.00	no
6	6.0594	0.004041	2370	0	-3.52	0.00	no
7	6.7542	0.004235	2212.5	0	-2.62	0.00	no
8	7.5174	0.004265	2160.0	0	-1.70	0.00	no
9	8.358	0.004148	3285	0	-5.27	0.00	no
10	9.3804	0.003917	3660	0	-4.96	0.00	no
11	10.368	0.003615	3645	0	-2.81	0.00	no
12	11.252	0.003278	3640	0	-0.68	0.00	no
13	12.133	0.00294	3655	0	1.39	1.39	yes
14	13.02	0.002623	3660	0	3.42	3.42	yes
15	13.916	0.002343	3840	0	4.92	4.92	yes
16	14.837	0.002107	3900	0	6.62	6.62	yes
17	15.759	0.001918	3900	0	8.28	8.28	yes
18	16.681	0.001772	3900	0	9.77	9.77	yes
19	17.603	0.00166	3900	0	11.13	11.13	yes
20	18.525	0.001573	3900	0	12.39	12.39	yes
21	19.447	0.001502	3900	0	13.59	13.59	yes
22	20.369	0.001434	3900	0	14.78	14.78	yes
23	21.291	0.00136	3900	0	15.99	15.99	yes
24	22.213	0.001268	3900	0	17.27	17.27	yes
25	23.135	0.001151	3900	0	18.65	18.65	yes
26	24.057	0.000998	3900	0	20.16	20.16	yes
27	24.979	0.000806	3900	0	21.84	21.84	yes
28	25.901	0.000572	3900	0	23.67	23.67	yes
29	26.823	0.000301	3900	0	25.65	25.65	yes
30	13.757	0	1950	0	13.76	13.76	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
9.5	0.451	0.004044	3660	8.3881732	15.25	8.39	no
10.5	1.493	0.003772	3655	9.4143887	15.28	9.41	no
11.5	2.463	0.003448	3640	10.336697	15.01	10.34	no
12.5	3.342	0.003107	3645	11.23145	14.67	11.23	no
13.5	4.226	0.002777	3660	12.163541	14.39	12.16	no
14.5	5.114	0.002477	3720	13.232377	14.33	13.23	no
15.5	6.027	0.002218	3900	14.686767	14.68	14.68	yes
16.5	6.948	0.002006	3900	15.608748	14.77	14.77	yes
17.5	7.87	0.001839	3900	16.530728	15.04	15.04	yes
18.5	8.792	0.001711	3900	17.452708	15.47	15.47	yes
19.5	9.714	0.001613	3900	18.374689	16.01	16.01	yes
20.5	10.64	0.001535	3900	19.296669	16.62	16.62	yes
21.5	11.56	0.001466	3900	20.218649	17.28	17.28	yes
22.5	12.48	0.001397	3900	21.14063	17.93	17.93	yes
23.5	13.4	0.001315	3900	22.06261	18.53	18.53	yes
24.5	14.32	0.001212	3900	22.98459	19.05	19.05	yes
25.5	15.25	0.001077	3900	23.906571	19.45	19.45	yes
26.5	16.17	0.000905	3900	24.828551	19.70	19.70	yes
27.5	17.09	0.000692	3900	25.750531	19.79	19.79	yes
28.5	18.01	0.000438	3900	26.672512	19.72	19.72	yes
29.5	18.93	0.00015	3900	27.594492	19.52	19.52	yes

Deformasi pada Iterasi 4

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0	9.5	-0.00409
1	0.000895	10.5	-0.00382
2	0.001749	11.5	-0.00349
3	0.002525	12.5	-0.00315
4	0.00319	13.5	-0.00281
5	0.003715	14.5	-0.0025
6	0.004081	15.5	-0.00224
7	0.00428	16.5	-0.00202
8	0.004313	17.5	-0.00185
9	0.004197	18.5	-0.00172
10	0.003966	19.5	-0.00162
11	0.003662	20.5	-0.00154
12	0.003322	21.5	-0.00147
13	0.002977	22.5	-0.0014
14	0.002654	23.5	-0.00131
15	0.002366	24.5	-0.00121
16	0.002124	25.5	-0.00108
17	0.001929	26.5	-0.0009
18	0.001778	27.5	-0.00069
19	0.001663	28.5	-0.00044
20	0.001574	29.5	-0.00015
21	0.001501		
22	0.001432		
23	0.001358		
24	0.001267		
25	0.001149		
26	0.000997		
27	0.000805		
28	0.000571		
29	0.0003		
30	0		

Iterasi 5

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8453	0	870	0	0.85	0.85	yes
1	2.2624	0.000895	1740	0	0.71	0.71	yes
2	3.0249	0.001749	1740	0	-0.02	0.00	no
3	3.802	0.002525	1785	0	-0.71	0.00	no
4	4.615	0.00319	1800	0	-1.13	0.00	no
5	5.3881	0.003715	2227.5	0	-2.89	0.00	no
6	6.0594	0.004081	2370	0	-3.61	0.00	no
7	6.7542	0.00428	2212.5	0	-2.72	0.00	no
8	7.5174	0.004313	2160.0	0	-1.80	0.00	no
9	8.358	0.004197	3285	0	-5.43	0.00	no
10	9.3804	0.003966	3660	0	-5.14	0.00	no
11	10.368	0.003662	3645	0	-2.98	0.00	no
12	11.252	0.003322	3640	0	-0.84	0.00	no
13	12.133	0.002977	3655	0	1.25	1.25	yes
14	13.02	0.002654	3660	0	3.31	3.31	yes
15	13.916	0.002366	3840	0	4.83	4.83	yes
16	14.837	0.002124	3900	0	6.55	6.55	yes
17	15.759	0.001929	3900	0	8.24	8.24	yes
18	16.681	0.001778	3900	0	9.75	9.75	yes
19	17.603	0.001663	3900	0	11.12	11.12	yes
20	18.525	0.001574	3900	0	12.39	12.39	yes
21	19.447	0.001501	3900	0	13.59	13.59	yes
22	20.369	0.001432	3900	0	14.78	14.78	yes
23	21.291	0.001358	3900	0	15.99	15.99	yes
24	22.213	0.001267	3900	0	17.27	17.27	yes
25	23.135	0.001149	3900	0	18.65	18.65	yes
26	24.057	0.000997	3900	0	20.17	20.17	yes
27	24.979	0.000805	3900	0	21.84	21.84	yes
28	25.901	0.000571	3900	0	23.67	23.67	yes
29	26.823	0.0003	3900	0	25.65	25.65	yes
30	13.757	0	1950	0	13.76	13.76	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
9.5	0.451	0.004093	3660	8.3881732	15.43	8.39	no
10.5	1.493	0.00382	3655	9.4143887	15.46	9.41	no
11.5	2.463	0.003493	3640	10.336697	15.18	10.34	no
12.5	3.342	0.003148	3645	11.23145	14.82	11.23	no
13.5	4.226	0.002811	3660	12.163541	14.51	12.16	no
14.5	5.114	0.002504	3720	13.232377	14.43	13.23	no
15.5	6.027	0.002238	3900	14.686767	14.75	14.69	no
16.5	6.948	0.00202	3900	15.608748	14.83	14.83	yes
17.5	7.87	0.001848	3900	16.530728	15.08	15.08	yes
18.5	8.792	0.001715	3900	17.452708	15.48	15.48	yes
19.5	9.714	0.001615	3900	18.374689	16.01	16.01	yes
20.5	10.64	0.001535	3900	19.296669	16.62	16.62	yes
21.5	11.56	0.001465	3900	20.218649	17.27	17.27	yes
22.5	12.48	0.001395	3900	21.14063	17.92	17.92	yes
23.5	13.4	0.001313	3900	22.06261	18.52	18.52	yes
24.5	14.32	0.00121	3900	22.98459	19.04	19.04	yes
25.5	15.25	0.001076	3900	23.906571	19.44	19.44	yes
26.5	16.17	0.000904	3900	24.828551	19.69	19.69	yes
27.5	17.09	0.000691	3900	25.750531	19.79	19.79	yes
28.5	18.01	0.000437	3900	26.672512	19.72	19.72	yes
29.5	18.93	0.00015	3900	27.594492	19.52	19.52	yes

Deformasi pada Iterasi 5

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0	9.5	-0.0041
1	0.000896	10.5	-0.00382
2	0.00175	11.5	-0.0035
3	0.002527	12.5	-0.00315
4	0.003192	13.5	-0.00281
5	0.003717	14.5	-0.00251
6	0.004084	15.5	-0.00224
7	0.004282	16.5	-0.00202
8	0.004315	17.5	-0.00185
9	0.0042	18.5	-0.00172
10	0.003969	19.5	-0.00162
11	0.003665	20.5	-0.00154
12	0.003324	21.5	-0.00147
13	0.00298	22.5	-0.0014
14	0.002656	23.5	-0.00131
15	0.002368	24.5	-0.00121
16	0.002126	25.5	-0.00108
17	0.001931	26.5	-0.0009
18	0.001779	27.5	-0.00069
19	0.001664	28.5	-0.00044
20	0.001575	29.5	-0.00015
21	0.001501		
22	0.001433		
23	0.001358		
24	0.001266		
25	0.001149		
26	0.000997		
27	0.000805		
28	0.000571		
29	0.0003		
30	0		

Iterasi 6

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8453	0	870	0	0.85	0.85	yes
1	2.2624	0.000896	1740	0	0.70	0.70	yes
2	3.0249	0.00175	1740	0	-0.02	0.00	no
3	3.802	0.002527	1785	0	-0.71	0.00	no
4	4.615	0.003192	1800	0	-1.13	0.00	no
5	5.3881	0.003717	2227.5	0	-2.89	0.00	no
6	6.0594	0.004084	2370	0	-3.62	0.00	no
7	6.7542	0.004282	2212.5	0	-2.72	0.00	no
8	7.5174	0.004315	2160.0	0	-1.80	0.00	no
9	8.358	0.0042	3285	0	-5.44	0.00	no
10	9.3804	0.003969	3660	0	-5.15	0.00	no
11	10.368	0.003665	3645	0	-2.99	0.00	no
12	11.252	0.003324	3640	0	-0.85	0.00	no
13	12.133	0.00298	3655	0	1.24	1.24	yes
14	13.02	0.002656	3660	0	3.30	3.30	yes
15	13.916	0.002368	3840	0	4.82	4.82	yes
16	14.837	0.002126	3900	0	6.55	6.55	yes
17	15.759	0.001931	3900	0	8.23	8.23	yes
18	16.681	0.001779	3900	0	9.74	9.74	yes
19	17.603	0.001664	3900	0	11.11	11.11	yes
20	18.525	0.001575	3900	0	12.38	12.38	yes
21	19.447	0.001501	3900	0	13.59	13.59	yes
22	20.369	0.001433	3900	0	14.78	14.78	yes
23	21.291	0.001358	3900	0	15.99	15.99	yes
24	22.213	0.001266	3900	0	17.28	17.28	yes
25	23.135	0.001149	3900	0	18.65	18.65	yes
26	24.057	0.000997	3900	0	20.17	20.17	yes
27	24.979	0.000805	3900	0	21.84	21.84	yes
28	25.901	0.000571	3900	0	23.67	23.67	yes
29	26.823	0.0003	3900	0	25.65	25.65	yes
30	13.757	0	1950	0	13.76	13.76	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
9.5	0.451	0.004096	3660	8.3881732	15.44	8.39	no
10.5	1.493	0.003823	3655	9.4143887	15.47	9.41	no
11.5	2.463	0.003496	3640	10.336697	15.19	10.34	no
12.5	3.342	0.00315	3645	11.23145	14.82	11.23	no
13.5	4.226	0.002814	3660	12.163541	14.53	12.16	no
14.5	5.114	0.002506	3720	13.232377	14.44	13.23	no
15.5	6.027	0.00224	3900	14.686767	14.76	14.69	no
16.5	6.948	0.002021	3900	15.608748	14.83	14.83	yes
17.5	7.87	0.001849	3900	16.530728	15.08	15.08	yes
18.5	8.792	0.001716	3900	17.452708	15.48	15.48	yes
19.5	9.714	0.001615	3900	18.374689	16.01	16.01	yes
20.5	10.64	0.001535	3900	19.296669	16.62	16.62	yes
21.5	11.56	0.001465	3900	20.218649	17.27	17.27	yes
22.5	12.48	0.001395	3900	21.14063	17.92	17.92	yes
23.5	13.4	0.001313	3900	22.06261	18.52	18.52	yes
24.5	14.32	0.00121	3900	22.98459	19.04	19.04	yes
25.5	15.25	0.001076	3900	23.906571	19.44	19.44	yes
26.5	16.17	0.000904	3900	24.828551	19.69	19.69	yes
27.5	17.09	0.000691	3900	25.750531	19.79	19.79	yes
28.5	18.01	0.000437	3900	26.672512	19.72	19.72	yes
29.5	18.93	0.00015	3900	27.594492	19.52	19.52	yes

Deformasi pada Iterasi 6

H	δ (m)	H	δ (m)
0	0	9.5	-0.0041
1	0.000896	10.5	-0.00382
2	0.00175	11.5	-0.0035
3	0.002527	12.5	-0.00315
4	0.003192	13.5	-0.00281
5	0.003717	14.5	-0.00251
6	0.004084	15.5	-0.00224
7	0.004282	16.5	-0.00202
8	0.004315	17.5	-0.00185
9	0.0042	18.5	-0.00172
10	0.003969	19.5	-0.00162
11	0.003665	20.5	-0.00154
12	0.003324	21.5	-0.00147
13	0.00298	22.5	-0.0014
14	0.002656	23.5	-0.00131
15	0.002368	24.5	-0.00121
16	0.002126	25.5	-0.00108
17	0.001931	26.5	-0.0009
18	0.001779	27.5	-0.00069
19	0.001664	28.5	-0.00044
20	0.001575	29.5	-0.00015
21	0.001501		
22	0.001433		
23	0.001358		
24	0.001266		
25	0.001149		
26	0.000997		
27	0.000805		
28	0.000571		
29	0.0003		
30	0		

Perhitungan Iterasi pada Model 3 Penggalan Tahap 1 Iterasi 1 Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	PO	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.41	0.0000	1632	0.0	3.41	3.41	yes
3	4.26	0.0000	1371	1.4	4.26	4.26	yes
4	4.86	0.0000	1284	3.5	4.86	4.86	yes
5	5.47	0.0000	1320	3.5	5.47	5.47	yes
6	6.11	0.0000	1332	3.9	6.11	6.11	yes
7	6.72	0.0000	1346	4.3	6.72	6.72	yes
8	7.25	0.0000	1350	4.7	7.25	7.25	yes
9	7.81	0.0000	1391	4.6	7.81	7.81	yes
10	8.46	0.0000	1404	5.1	8.46	8.46	yes
11	9.15	0.0000	1548	3.3	9.15	9.15	yes
12	9.89	0.0000	1596	3.3	9.89	9.89	yes
13	10.63	0.0000	1569	4.5	10.63	10.63	yes
14	11.34	0.0000	1560	5.3	11.34	11.34	yes
15	12.04	0.0000	1560	6.0	12.04	12.04	yes
16	12.68	0.0000	1560	6.7	12.68	12.68	yes
17	13.35	0.0000	1695	5.1	13.35	13.35	yes
18	14.06	0.0000	1740	5.1	14.06	14.06	yes
19	14.78	0.0000	1830	4.3	14.78	14.78	yes
20	15.51	0.0000	1860	4.5	15.51	15.51	yes
21	9.41	0.0000	4365	4.7	9.41	9.41	yes
22	7.58	0.0000	5200	4.9	7.58	7.58	yes
23	8.38	0.0000	5980	5.5	8.38	8.38	yes
24	8.94	0.0000	6240	5.8	8.94	8.94	yes
27	21.37	0.0000	2640	0.0	21.37	21.37	yes
28	22.12	0.0000	2640	0.0	22.12	22.12	yes
29	22.86	0.0000	2640	0.0	22.86	22.86	yes
30	23.60	0.0000	2640	0.0	23.60	23.60	yes
31	24.34	0.0000	2640	0.0	24.34	24.34	yes
32	25.08	0.0000	2640	0.0	25.08	25.08	yes
33	25.83	0.0000	2640	0.0	25.83	25.83	yes
34	26.57	0.0000	2640	0.6	26.57	26.57	yes
35	27.31	0.0000	2640	1.3	27.31	27.31	yes
36	28.05	0.0000	2640	2.1	28.05	28.05	yes
37	28.79	0.0000	2640	2.8	28.79	28.79	yes
38	29.54	0.0000	2640	3.5	29.54	29.54	yes
39	30.28	0.0000	2640	4.3	30.28	30.28	yes
40	31.02	0.0000	2640	5.0	31.02	31.02	yes
41	31.76	0.0000	2640	5.8	31.76	31.76	yes
42	32.50	0.0000	2640	6.5	32.50	32.50	yes
43	33.25	0.0000	2640	7.2	33.25	33.25	yes
44	33.99	0.0000	2640	8.0	33.99	33.99	yes
45	34.73	0.0000	2640	8.7	34.73	34.73	yes
46	35.47	0.0000	2640	9.5	35.47	35.47	yes
47	36.21	0.0000	2640	10.2	36.21	36.21	yes
48	36.96	0.0000	2640	11.0	36.96	36.96	yes
49	37.70	0.0000	2640	11.7	37.70	37.70	yes
50	38.44	0.0000	2640	12.4	38.44	38.44	yes
51	39.18	0.0000	2640	13.2	39.18	39.18	yes
52	39.92	0.0000	2640	13.9	39.92	39.92	yes
53	40.67	0.0000	2640	14.7	40.67	40.67	yes
54	41.41	0.0000	2640	15.4	41.41	41.41	yes
55	20.98	0.0000	1320	8.0	20.98	20.98	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
13.5	0.31	0.0000	1560	3.90	0.31	0.31	yes
14.5	1.04	0.0000	1560	4.54	1.04	1.04	yes
15.5	1.74	0.0000	1560	5.20	1.74	1.74	yes
16.5	2.38	0.0000	1605	6.04	2.38	2.38	yes
17.5	3.08	0.0000	1740	7.32	3.08	3.08	yes
18.5	3.80	0.0000	1770	8.15	3.80	3.80	yes
19.5	4.52	0.0000	1860	9.21	4.52	4.52	yes
20.5	4.47	0.0000	2695	12.28	4.47	4.47	yes
21.5	2.69	0.0000	5200	21.60	2.69	2.69	yes
22.5	3.15	0.0000	5460	24.29	3.15	3.15	yes
23.5	3.73	0.0000	6240	25.81	3.73	3.73	yes
24.5	5.37	0.0000	5340	25.41	5.37	5.37	yes
25.5	9.63	0.0000	2640	16.84	9.63	9.63	yes
26.5	10.38	0.0000	2640	17.59	10.38	10.38	yes
27.5	11.12	0.0000	2640	18.33	11.12	11.12	yes
28.5	11.86	0.0000	2640	19.07	11.86	11.86	yes
29.5	12.60	0.0000	2640	19.81	12.60	12.60	yes
30.5	13.34	0.0000	2640	20.55	13.34	13.34	yes
31.5	14.09	0.0000	2640	21.30	14.09	14.09	yes
32.5	14.83	0.0000	2640	22.04	14.83	14.83	yes
33.5	15.57	0.0000	2640	22.78	15.57	15.57	yes
34.5	16.31	0.0000	2640	23.52	16.31	16.31	yes
35.5	17.05	0.0000	2640	24.26	17.05	17.05	yes
38.5	19.28	0.0000	2640	26.49	19.28	19.28	yes
39.5	20.02	0.0000	2640	27.23	20.02	20.02	yes
40.5	20.76	0.0000	2640	27.97	20.76	20.76	yes
41.5	21.51	0.0000	2640	28.72	21.51	21.51	yes
42.5	22.25	0.0000	2640	29.46	22.25	22.25	yes
43.5	22.99	0.0000	2640	30.20	22.99	22.99	yes
44.5	23.73	0.0000	2640	30.94	23.73	23.73	yes
45.5	24.47	0.0000	2640	31.68	24.47	24.47	yes
46.5	25.22	0.0000	2640	32.43	25.22	25.22	yes
47.5	25.96	0.0000	2640	33.17	25.96	25.96	yes
48.5	26.70	0.0000	2640	33.91	26.70	26.70	yes
49.5	27.44	0.0000	2640	34.65	27.44	27.44	yes
50.5	28.18	0.0000	2640	35.39	28.18	28.18	yes
51.5	28.93	0.0000	2640	36.14	28.93	28.93	yes
52.5	29.67	0.0000	2640	36.88	29.67	29.67	yes
53.5	30.41	0.0000	2640	37.62	30.41	30.41	yes
54.5	31.15	0.0000	2640	38.36	31.15	31.15	yes

Deformasi pada Iterasi 1

H	δ (m)	H	δ (m)
2	0.0000	13.5	-0.0053
3	0.0008	14.5	-0.0052
4	0.0016	15.5	-0.0051
5	0.0023	16.5	-0.0049
6	0.0030	17.5	-0.0046
7	0.0036	18.5	-0.0043
8	0.0041	19.5	-0.0040
9	0.0046	20.5	-0.0037
10	0.0049	21.5	-0.0034
11	0.0051	22.5	-0.0032
12	0.0053	23.5	-0.0030
13	0.0053	24.5	-0.0028
14	0.0053	25.5	-0.0027
15	0.0052	26.5	-0.0027
16	0.0050	27.5	-0.0026
17	0.0047	28.5	-0.0026
18	0.0045	29.5	-0.0026
19	0.0042	30.5	-0.0026
20	0.0038	31.5	-0.0027
21	0.0036	32.5	-0.0027
22	0.0033	33.5	-0.0027
23	0.0031	34.5	-0.0027
24	0.0029	35.5	-0.0028
27	0.0026	38.5	-0.0028
28	0.0026	39.5	-0.0028
29	0.0026	40.5	-0.0027
30	0.0026	41.5	-0.0027
31	0.0027	42.5	-0.0026
32	0.0027	43.5	-0.0025
33	0.0027	44.5	-0.0024
34	0.0027	45.5	-0.0023
35	0.0028	46.5	-0.0022
36	0.0028	47.5	-0.0020
37	0.0028	48.5	-0.0018
38	0.0028	49.5	-0.0016
39	0.0028	50.5	-0.0014
40	0.0027	51.5	-0.0011
41	0.0027	52.5	-0.0008
42	0.0027	53.5	-0.0005
43	0.0026	54.5	-0.0002
44	0.0025		
45	0.0024		
46	0.0023		
47	0.0021		
48	0.0019		
49	0.0017		
50	0.0015		
51	0.0012		
52	0.0010		
53	0.0007		
54	0.0003		
55	0.0000		

Iterasi 2

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.41	0.0000	1632	0.00	3.41	3.41	yes
3	4.26	0.0008	1371	1.41	3.16	3.16	yes
4	4.86	0.0016	1284	3.46	2.84	3.46	no
5	5.47	0.0023	1320	3.47	2.42	3.47	no
6	6.11	0.0030	1332	3.91	2.13	3.91	no
7	6.72	0.0036	1346	4.30	1.88	4.30	no
8	7.25	0.0041	1350	4.75	1.67	4.75	no
9	7.81	0.0046	1391	4.63	1.46	4.63	no
10	8.46	0.0049	1404	5.06	1.58	5.06	no
11	9.15	0.0051	1548	3.35	1.19	3.35	no
12	9.89	0.0053	1596	3.29	1.46	3.29	no
13	10.63	0.0053	1569	4.48	2.27	4.48	no
14	11.34	0.0053	1560	5.34	3.11	5.34	no
15	12.04	0.0052	1560	6.04	3.99	6.04	no
16	12.68	0.0050	1560	6.68	4.93	6.68	no
17	13.35	0.0047	1695	5.10	5.32	5.32	yes
18	14.06	0.0045	1740	5.06	6.31	6.31	yes
19	14.78	0.0042	1830	4.28	7.18	7.18	yes
20	15.51	0.0038	1860	4.51	8.35	8.35	yes
21	9.41	0.0036	4365	4.72	-6.09	4.72	no
22	7.58	0.0033	5200	4.86	-9.49	4.86	no
23	8.38	0.0031	5980	5.45	-9.92	5.45	no
24	8.94	0.0029	6240	5.84	-9.08	5.84	no
25	17.29	0.0028	3540	0.00	7.49	7.49	yes
26	20.63	0.0027	2640	0.00	13.53	13.53	yes
27	21.37	0.0026	2640	0.00	14.39	14.39	yes
28	22.12	0.0026	2640	0.00	15.18	15.18	yes
29	22.86	0.0026	2640	0.00	15.93	15.93	yes
30	23.60	0.0026	2640	0.00	16.64	16.64	yes
31	24.34	0.0027	2640	0.00	17.32	17.32	yes
32	25.08	0.0027	2640	0.00	18.00	18.00	yes
33	25.83	0.0027	2640	0.00	18.67	18.67	yes
34	26.57	0.0027	2640	0.57	19.35	19.35	yes
35	27.31	0.0028	2640	1.31	20.04	20.04	yes
36	28.05	0.0028	2640	2.05	20.74	20.74	yes
37	28.79	0.0028	2640	2.79	21.46	21.46	yes
38	29.54	0.0028	2640	3.54	22.21	22.21	yes
39	30.28	0.0028	2640	4.28	22.98	22.98	yes
40	31.02	0.0027	2640	5.02	23.79	23.79	yes
41	31.76	0.0027	2640	5.76	24.62	24.62	yes
42	32.50	0.0027	2640	6.50	25.50	25.50	yes
43	33.25	0.0026	2640	7.25	26.42	26.42	yes
44	33.99	0.0025	2640	7.99	27.39	27.39	yes
45	34.73	0.0024	2640	8.73	28.41	28.41	yes
46	35.47	0.0023	2640	9.47	29.49	29.49	yes
47	36.21	0.0021	2640	10.21	30.64	30.64	yes
48	36.96	0.0019	2640	10.96	31.84	31.84	yes
49	37.70	0.0017	2640	11.70	33.13	33.13	yes
50	38.44	0.0015	2640	12.44	34.47	34.47	yes
51	39.18	0.0012	2640	13.18	35.89	35.89	yes
52	39.92	0.0010	2640	13.92	37.38	37.38	yes
53	40.67	0.0007	2640	14.67	38.93	38.93	yes
54	41.41	0.0003	2640	15.41	40.52	40.52	yes
55	20.98	0.0000	1320	7.98	20.98	20.98	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
13.5	0.31	0.0000	1560	3.90	0.31	0.31	yes
14.5	1.04	0.0000	1560	4.54	1.04	1.04	yes
15.5	1.74	0.0000	1560	5.20	1.74	1.74	yes
16.5	2.38	0.0000	1605	6.04	2.38	2.38	yes
17.5	3.08	0.0000	1740	7.32	3.08	3.08	yes
18.5	3.80	0.0000	1770	8.15	3.80	3.80	yes
19.5	4.52	0.0000	1860	9.21	4.52	4.52	yes
20.5	4.47	0.0000	2695	12.28	4.47	4.47	yes
21.5	2.69	0.0000	5200	21.60	2.69	2.69	yes
22.5	3.15	0.0000	5460	24.29	3.15	3.15	yes
23.5	3.73	0.0000	6240	25.81	3.73	3.73	yes
24.5	5.37	0.0000	5340	25.41	5.37	5.37	yes
25.5	9.63	0.0000	2640	16.84	9.63	9.63	yes
26.5	10.38	0.0000	2640	17.59	10.38	10.38	yes
27.5	11.12	0.0000	2640	18.33	11.12	11.12	yes
28.5	11.86	0.0000	2640	19.07	11.86	11.86	yes
29.5	12.60	0.0000	2640	19.81	12.60	12.60	yes
30.5	13.34	0.0000	2640	20.55	13.34	13.34	yes
31.5	14.09	0.0000	2640	21.30	14.09	14.09	yes
32.5	14.83	0.0000	2640	22.04	14.83	14.83	yes
33.5	15.57	0.0000	2640	22.78	15.57	15.57	yes
34.5	16.31	0.0000	2640	23.52	16.31	16.31	yes
35.5	17.05	0.0000	2640	24.26	17.05	17.05	yes
38.5	19.28	0.0000	2640	26.49	19.28	19.28	yes
39.5	20.02	0.0000	2640	27.23	20.02	20.02	yes
40.5	20.76	0.0000	2640	27.97	20.76	20.76	yes
41.5	21.51	0.0000	2640	28.72	21.51	21.51	yes
42.5	22.25	0.0000	2640	29.46	22.25	22.25	yes
43.5	22.99	0.0000	2640	30.20	22.99	22.99	yes
44.5	23.73	0.0000	2640	30.94	23.73	23.73	yes
45.5	24.47	0.0000	2640	31.68	24.47	24.47	yes
46.5	25.22	0.0000	2640	32.43	25.22	25.22	yes
47.5	25.96	0.0000	2640	33.17	25.96	25.96	yes
48.5	26.70	0.0000	2640	33.91	26.70	26.70	yes
49.5	27.44	0.0000	2640	34.65	27.44	27.44	yes
50.5	28.18	0.0000	2640	35.39	28.18	28.18	yes
51.5	28.93	0.0000	2640	36.14	28.93	28.93	yes
52.5	29.67	0.0000	2640	36.88	29.67	29.67	yes
53.5	30.41	0.0000	2640	37.62	30.41	30.41	yes
54.5	31.15	0.0000	2640	38.36	31.15	31.15	yes

Deformasi pada Iterasi 2

H	Deform	H	Deform
2	0.0000	13.5	-0.0087
3	0.0012	14.5	-0.0086
4	0.0024	15.5	-0.0084
5	0.0036	16.5	-0.0081
6	0.0047	17.5	-0.0077
7	0.0056	18.5	-0.0073
8	0.0065	19.5	-0.0068
9	0.0072	20.5	-0.0063
10	0.0078	21.5	-0.0058
11	0.0082	22.5	-0.0053
12	0.0085	23.5	-0.0048
13	0.0086	24.5	-0.0044
14	0.0086	25.5	-0.0041
15	0.0085	26.5	-0.0038
16	0.0083	27.5	-0.0035
17	0.0079	28.5	-0.0033
18	0.0075	29.5	-0.0032
19	0.0070	30.5	-0.0030
20	0.0065	31.5	-0.0029
21	0.0060	32.5	-0.0029
22	0.0055	33.5	-0.0028
23	0.0050	34.5	-0.0028
24	0.0046	35.5	-0.0027
25	0.0042	36.5	-0.0027
26	0.0039	37.5	-0.0027
27	0.0036	38.5	-0.0026
28	0.0034	39.5	-0.0026
29	0.0032	40.5	-0.0026
30	0.0031	41.5	-0.0026
31	0.0030	42.5	-0.0025
32	0.0029	43.5	-0.0024
33	0.0028	44.5	-0.0023
34	0.0028	45.5	-0.0022
35	0.0027	46.5	-0.0021
36	0.0027	47.5	-0.0020
37	0.0027	48.5	-0.0018
38	0.0027	49.5	-0.0016
39	0.0026	50.5	-0.0013
40	0.0026	51.5	-0.0011
41	0.0026	52.5	-0.0008
42	0.0025	53.5	-0.0005
43	0.0025	54.5	-0.0002
44	0.0024		
45	0.0023		
46	0.0022		
47	0.0020		
48	0.0019		
49	0.0017		
50	0.0015		
51	0.0012		
52	0.0009		
53	0.0006		
54	0.0003		
55	0.0000		

Iterasi 3

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.41	0.0000	1632	0.00	3.41	3.41	yes
3	4.26	0.0012	1371	1.41	2.57	2.57	yes
4	4.86	0.0024	1284	3.46	1.74	3.46	no
5	5.47	0.0036	1320	3.47	0.74	3.47	no
6	6.11	0.0047	1332	3.91	-0.08	3.91	no
7	6.72	0.0056	1346	4.30	-0.84	4.30	no
8	7.25	0.0065	1350	4.75	-1.50	4.75	no
9	7.81	0.0072	1391	4.63	-2.20	4.63	no
10	8.46	0.0078	1404	5.06	-2.46	5.06	no
11	9.15	0.0082	1548	3.35	-3.57	3.35	no
12	9.89	0.0085	1596	3.29	-3.68	3.29	no
13	10.63	0.0086	1569	4.48	-2.93	4.48	no
14	11.34	0.0086	1560	5.34	-2.14	5.34	no
15	12.04	0.0085	1560	6.04	-1.24	6.04	no
16	12.68	0.0083	1560	6.68	-0.22	6.68	no
17	13.35	0.0079	1695	5.10	-0.09	5.10	no
18	14.06	0.0075	1740	5.06	0.99	5.06	no
19	14.78	0.0070	1830	4.28	1.90	4.28	no
20	15.51	0.0065	1860	4.51	3.35	4.51	no
21	9.41	0.0060	4365	4.72	-16.85	4.72	no
22	7.58	0.0055	5200	4.86	-21.08	4.86	no
23	8.38	0.0050	5980	5.45	-21.75	5.45	no
24	8.94	0.0046	6240	5.84	-19.83	5.84	no
25	17.29	0.0042	3540	0.00	2.29	2.29	yes
26	20.63	0.0039	2640	0.00	10.29	10.29	yes
27	21.37	0.0036	2640	0.00	11.75	11.75	yes
28	22.12	0.0034	2640	0.00	13.08	13.08	yes
29	22.86	0.0032	2640	0.00	14.30	14.30	yes
30	23.60	0.0031	2640	0.00	15.43	15.43	yes
31	24.34	0.0030	2640	0.00	16.48	16.48	yes
32	25.08	0.0029	2640	0.00	17.46	17.46	yes
33	25.83	0.0028	2640	0.00	18.38	18.38	yes
34	26.57	0.0028	2640	0.57	19.25	19.25	yes
35	27.31	0.0027	2640	1.31	20.09	20.09	yes
36	28.05	0.0027	2640	2.05	20.91	20.91	yes
37	28.79	0.0027	2640	2.79	21.71	21.71	yes
38	29.54	0.0027	2640	3.54	22.51	22.51	yes
39	30.28	0.0026	2640	4.28	23.32	23.32	yes
40	31.02	0.0026	2640	5.02	24.13	24.13	yes
41	31.76	0.0026	2640	5.76	24.97	24.97	yes
42	32.50	0.0025	2640	6.50	25.83	25.83	yes
43	33.25	0.0025	2640	7.25	26.73	26.73	yes
44	33.99	0.0024	2640	7.99	27.67	27.67	yes
45	34.73	0.0023	2640	8.73	28.67	28.67	yes
46	35.47	0.0022	2640	9.47	29.72	29.72	yes
47	36.21	0.0020	2640	10.21	30.83	30.83	yes
48	36.96	0.0019	2640	10.96	32.01	32.01	yes
49	37.70	0.0017	2640	11.70	33.26	33.26	yes
50	38.44	0.0015	2640	12.44	34.59	34.59	yes
51	39.18	0.0012	2640	13.18	35.98	35.98	yes
52	39.92	0.0009	2640	13.92	37.44	37.44	yes
53	40.67	0.0006	2640	14.67	38.97	38.97	yes
54	41.41	0.0003	2640	15.41	40.54	40.54	yes
55	20.98	0.0000	1320	7.98	20.98	20.98	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
13.5	0.3	0.0087	1560	3.9	13.82	3.90	no
14.5	1.0	0.0086	1560	4.5	14.45	4.54	no
15.5	1.7	0.0084	1560	5.2	14.85	5.20	no
16.5	2.4	0.0081	1605	6.0	15.40	6.04	no
17.5	3.1	0.0077	1740	7.3	16.53	7.32	no
18.5	3.8	0.0073	1770	8.2	16.69	8.15	no
19.5	4.5	0.0068	1860	9.2	17.15	9.21	no
20.5	4.5	0.0063	2695	12.3	21.39	12.28	no
21.5	2.7	0.0058	5200	21.6	32.65	21.60	no
22.5	3.1	0.0053	5460	24.3	31.91	24.29	no
23.5	3.7	0.0048	6240	25.8	33.79	25.81	no
24.5	5.4	0.0044	5340	25.4	28.95	25.41	no
25.5	9.6	0.0041	2640	16.8	20.38	16.84	no
26.5	10.4	0.0038	2640	17.6	20.34	17.59	no
27.5	11.1	0.0035	2640	18.3	20.43	18.33	no
28.5	11.9	0.0033	2640	19.1	20.64	19.07	no
29.5	12.6	0.0032	2640	19.8	20.95	19.81	no
30.5	13.3	0.0030	2640	20.6	21.35	20.55	no
31.5	14.1	0.0029	2640	21.3	21.82	21.30	no
32.5	14.8	0.0029	2640	22.0	22.36	22.04	no
33.5	15.6	0.0028	2640	22.8	22.95	22.78	no
34.5	16.3	0.0028	2640	23.5	23.57	23.52	no
35.5	17.1	0.0027	2640	24.3	24.23	24.23	yes
36.5	17.8	0.0027	2640	25.0	24.90	24.90	yes
37.5	18.5	0.0027	2640	25.7	25.59	25.59	yes
38.5	19.3	0.0026	2640	26.5	26.27	26.27	yes
39.5	20.0	0.0026	2640	27.2	26.95	26.95	yes
40.5	20.8	0.0026	2640	28.0	27.61	27.61	yes
41.5	21.5	0.0026	2640	28.7	28.24	28.24	yes
42.5	22.2	0.0025	2640	29.5	28.84	28.84	yes
43.5	23.0	0.0024	2640	30.2	29.41	29.41	yes
44.5	23.7	0.0023	2640	30.9	29.92	29.92	yes
45.5	24.5	0.0022	2640	31.7	30.39	30.39	yes
46.5	25.2	0.0021	2640	32.4	30.79	30.79	yes
47.5	26.0	0.0020	2640	33.2	31.13	31.13	yes
48.5	26.7	0.0018	2640	33.9	31.40	31.40	yes
49.5	27.4	0.0016	2640	34.7	31.59	31.59	yes
50.5	28.2	0.0013	2640	35.4	31.72	31.72	yes
51.5	28.9	0.0011	2640	36.1	31.77	31.77	yes
52.5	29.7	0.0008	2640	36.9	31.76	31.76	yes
53.5	30.4	0.0005	2640	37.6	31.69	31.69	yes
54.5	31.2	0.0002	2640	38.4	31.59	31.59	yes

Deformasi pada Iterasi 3

H	Deform	H	Deform
2	0.0000	13.5	-0.0120
3	0.0016	14.5	-0.0121
4	0.0031	15.5	-0.0121
5	0.0046	16.5	-0.0119
6	0.0060	17.5	-0.0115
7	0.0073	18.5	-0.0111
8	0.0085	19.5	-0.0105
9	0.0095	20.5	-0.0099
10	0.0104	21.5	-0.0093
11	0.0111	22.5	-0.0086
12	0.0116	23.5	-0.0080
13	0.0119	24.5	-0.0073
14	0.0121	25.5	-0.0067
15	0.0121	26.5	-0.0062
16	0.0120	27.5	-0.0057
17	0.0117	28.5	-0.0052
18	0.0113	29.5	-0.0048
19	0.0108	30.5	-0.0044
20	0.0102	31.5	-0.0041
21	0.0096	32.5	-0.0038
22	0.0090	33.5	-0.0036
23	0.0083	34.5	-0.0033
24	0.0077	35.5	-0.0032
25	0.0070	36.5	-0.0030
26	0.0065	37.5	-0.0029
27	0.0059	38.5	-0.0028
28	0.0054	39.5	-0.0027
29	0.0050	40.5	-0.0026
30	0.0046	41.5	-0.0025
31	0.0042	42.5	-0.0024
32	0.0039	43.5	-0.0023
33	0.0037	44.5	-0.0022
34	0.0034	45.5	-0.0021
35	0.0032	46.5	-0.0020
36	0.0031	47.5	-0.0019
37	0.0029	48.5	-0.0017
38	0.0028	49.5	-0.0015
39	0.0027	50.5	-0.0013
40	0.0026	51.5	-0.0010
41	0.0026	52.5	-0.0008
42	0.0025	53.5	-0.0005
43	0.0024	54.5	-0.0002
44	0.0023		
45	0.0022		
46	0.0021		
47	0.0019		
48	0.0018		
49	0.0016		
50	0.0014		
51	0.0012		
52	0.0009		
53	0.0006		
54	0.0003		
55	0.0000		

Iterasi 4

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.41	0.0000	1632	0.00	3.41	3.41	yes
3	4.26	0.0016	1371	1.41	2.09	2.09	yes
4	4.86	0.0031	1284	3.46	0.83	3.46	no
5	5.47	0.0046	1320	3.47	-0.65	3.47	no
6	6.11	0.0060	1332	3.91	-1.93	3.91	no
7	6.72	0.0073	1346	4.30	-3.15	4.30	no
8	7.25	0.0085	1350	4.75	-4.23	4.75	no
9	7.81	0.0095	1391	4.63	-5.44	4.63	no
10	8.46	0.0104	1404	5.06	-6.12	5.06	no
11	9.15	0.0111	1548	3.35	-8.00	3.35	no
12	9.89	0.0116	1596	3.29	-8.61	3.29	no
13	10.63	0.0119	1569	4.48	-8.09	4.48	no
14	11.34	0.0121	1560	5.34	-7.54	5.34	no
15	12.04	0.0121	1560	6.04	-6.86	6.04	no
16	12.68	0.0120	1560	6.68	-5.99	6.68	no
17	13.35	0.0117	1695	5.10	-6.48	5.10	no
18	14.06	0.0113	1740	5.06	-5.60	5.06	no
19	14.78	0.0108	1830	4.28	-4.99	4.28	no
20	15.51	0.0102	1860	4.51	-3.53	4.51	no
21	9.41	0.0096	4365	4.72	-32.55	4.72	no
22	7.58	0.0090	5200	4.86	-39.01	4.86	no
23	8.38	0.0083	5980	5.45	-41.25	5.45	no
24	8.94	0.0077	6240	5.84	-38.80	5.84	no
25	17.29	0.0070	3540	0.00	-7.60	0.00	no
26	20.63	0.0065	2640	0.00	3.60	3.60	yes
27	21.37	0.0059	2640	0.00	5.76	5.76	yes
28	22.12	0.0054	2640	0.00	7.79	7.79	yes
29	22.86	0.0050	2640	0.00	9.70	9.70	yes
30	23.60	0.0046	2640	0.00	11.48	11.48	yes
31	24.34	0.0042	2640	0.00	13.15	13.15	yes
32	25.08	0.0039	2640	0.00	14.70	14.70	yes
33	25.83	0.0037	2640	0.00	16.14	16.14	yes
34	26.57	0.0034	2640	0.57	17.48	17.48	yes
35	27.31	0.0032	2640	1.31	18.73	18.73	yes
36	28.05	0.0031	2640	2.05	19.91	19.91	yes
37	28.79	0.0029	2640	2.79	21.02	21.02	yes
38	29.54	0.0028	2640	3.54	22.07	22.07	yes
39	30.28	0.0027	2640	4.28	23.08	23.08	yes
40	31.02	0.0026	2640	5.02	24.06	24.06	yes
41	31.76	0.0026	2640	5.76	25.02	25.02	yes
42	32.50	0.0025	2640	6.50	25.97	25.97	yes
43	33.25	0.0024	2640	7.25	26.94	26.94	yes
44	33.99	0.0023	2640	7.99	27.92	27.92	yes
45	34.73	0.0022	2640	8.73	28.94	28.94	yes
46	35.47	0.0021	2640	9.47	29.99	29.99	yes
47	36.21	0.0019	2640	10.21	31.10	31.10	yes
48	36.96	0.0018	2640	10.96	32.26	32.26	yes
49	37.70	0.0016	2640	11.70	33.49	33.49	yes
50	38.44	0.0014	2640	12.44	34.78	34.78	yes
51	39.18	0.0012	2640	13.18	36.14	36.14	yes
52	39.92	0.0009	2640	13.92	37.57	37.57	yes
53	40.67	0.0006	2640	14.67	39.05	39.05	yes
54	41.41	0.0003	2640	15.41	40.58	40.58	yes
55	20.98	0.0000	1320	7.98	20.98	20.98	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
13.5	0.3	0.0120	1560	3.9	19.09	3.90	no
14.5	1.0	0.0121	1560	4.5	19.96	4.54	no
15.5	1.7	0.0121	1560	5.2	20.55	5.20	no
16.5	2.4	0.0119	1605	6.0	21.40	6.04	no
17.5	3.1	0.0115	1740	7.3	23.11	7.32	no
18.5	3.8	0.0111	1770	8.2	23.38	8.15	no
19.5	4.5	0.0105	1860	9.2	24.11	9.21	no
20.5	4.5	0.0099	2695	12.3	31.24	12.28	no
21.5	2.7	0.0093	5200	21.6	50.99	21.60	no
22.5	3.1	0.0086	5460	24.3	50.25	24.29	no
23.5	3.7	0.0080	6240	25.8	53.47	25.81	no
24.5	5.4	0.0073	5340	25.4	44.55	25.41	no
25.5	9.6	0.0067	2640	16.8	27.42	16.84	no
26.5	10.4	0.0062	2640	17.6	26.68	17.59	no
27.5	11.1	0.0057	2640	18.3	26.07	18.33	no
28.5	11.9	0.0052	2640	19.1	25.58	19.07	no
29.5	12.6	0.0048	2640	19.8	25.22	19.81	no
30.5	13.3	0.0044	2640	20.6	24.98	20.55	no
31.5	14.1	0.0041	2640	21.3	24.86	21.30	no
32.5	14.8	0.0038	2640	22.0	24.85	22.04	no
33.5	15.6	0.0036	2640	22.8	24.94	22.78	no
34.5	16.3	0.0033	2640	23.5	25.13	23.52	no
35.5	17.1	0.0032	2640	24.3	25.40	24.26	no
36.5	17.8	0.0030	2640	25.0	25.75	25.01	no
37.5	18.5	0.0029	2640	25.7	26.15	25.75	no
38.5	19.3	0.0028	2640	26.5	26.61	26.49	no
39.5	20.0	0.0027	2640	27.2	27.10	27.10	yes
40.5	20.8	0.0026	2640	28.0	27.61	27.61	yes
41.5	21.5	0.0025	2640	28.7	28.14	28.14	yes
42.5	22.2	0.0024	2640	29.5	28.67	28.67	yes
43.5	23.0	0.0023	2640	30.2	29.17	29.17	yes
44.5	23.7	0.0022	2640	30.9	29.66	29.66	yes
45.5	24.5	0.0021	2640	31.7	30.11	30.11	yes
46.5	25.2	0.0020	2640	32.4	30.52	30.52	yes
47.5	26.0	0.0019	2640	33.2	30.87	30.87	yes
48.5	26.7	0.0017	2640	33.9	31.16	31.16	yes
49.5	27.4	0.0015	2640	34.7	31.38	31.38	yes
50.5	28.2	0.0013	2640	35.4	31.54	31.54	yes
51.5	28.9	0.0010	2640	36.1	31.63	31.63	yes
52.5	29.7	0.0008	2640	36.9	31.66	31.66	yes
53.5	30.4	0.0005	2640	37.6	31.63	31.63	yes
54.5	31.2	0.0002	2640	38.4	31.57	31.57	yes

Deformasi pada Iterasi 4

H	Deform	H	Deform
2	0.0000	13.5	-0.0125
3	0.0016	14.5	-0.0126
4	0.0032	15.5	-0.0125
5	0.0048	16.5	-0.0123
6	0.0062	17.5	-0.0120
7	0.0075	18.5	-0.0116
8	0.0088	19.5	-0.0111
9	0.0098	20.5	-0.0105
10	0.0107	21.5	-0.0098
11	0.0114	22.5	-0.0091
12	0.0120	23.5	-0.0085
13	0.0124	24.5	-0.0078
14	0.0125	25.5	-0.0072
15	0.0126	26.5	-0.0066
16	0.0125	27.5	-0.0061
17	0.0122	28.5	-0.0056
18	0.0118	29.5	-0.0051
19	0.0113	30.5	-0.0047
20	0.0108	31.5	-0.0043
21	0.0101	32.5	-0.0040
22	0.0095	33.5	-0.0037
23	0.0088	34.5	-0.0035
24	0.0081	35.5	-0.0033
25	0.0075	36.5	-0.0031
26	0.0069	37.5	-0.0030
27	0.0063	38.5	-0.0029
28	0.0058	39.5	-0.0027
29	0.0053	40.5	-0.0026
30	0.0049	41.5	-0.0025
31	0.0045	42.5	-0.0025
32	0.0042	43.5	-0.0024
33	0.0039	44.5	-0.0023
34	0.0036	45.5	-0.0021
35	0.0034	46.5	-0.0020
36	0.0032	47.5	-0.0019
37	0.0031	48.5	-0.0017
38	0.0029	49.5	-0.0015
39	0.0028	50.5	-0.0013
40	0.0027	51.5	-0.0010
41	0.0026	52.5	-0.0007
42	0.0025	53.5	-0.0005
43	0.0024	54.5	-0.0002
44	0.0023		
45	0.0022		
46	0.0021		
47	0.0019		
48	0.0018		
49	0.0016		
50	0.0014		
51	0.0011		
52	0.0009		
53	0.0006		
54	0.0003		
55	0.0000		

Iterasi 5

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.41	0.0000	1632	0.00	3.41	3.41	yes
3	4.26	0.0016	1371	1.41	2.03	2.03	yes
4	4.86	0.0032	1284	3.46	0.72	3.46	no
5	5.47	0.0048	1320	3.47	-0.82	3.47	no
6	6.11	0.0062	1332	3.91	-2.16	3.91	no
7	6.72	0.0075	1346	4.30	-3.43	4.30	no
8	7.25	0.0088	1350	4.75	-4.57	4.75	no
9	7.81	0.0098	1391	4.63	-5.84	4.63	no
10	8.46	0.0107	1404	5.06	-6.57	5.06	no
11	9.15	0.0114	1548	3.35	-8.55	3.35	no
12	9.89	0.0120	1596	3.29	-9.23	3.29	no
13	10.63	0.0124	1569	4.48	-8.75	4.48	no
14	11.34	0.0125	1560	5.34	-8.23	5.34	no
15	12.04	0.0126	1560	6.04	-7.59	6.04	no
16	12.68	0.0125	1560	6.68	-6.75	6.68	no
17	13.35	0.0122	1695	5.10	-7.33	5.10	no
18	14.06	0.0118	1740	5.06	-6.50	5.06	no
19	14.78	0.0113	1830	4.28	-5.95	4.28	no
20	15.51	0.0108	1860	4.51	-4.51	4.51	no
21	9.41	0.0101	4365	4.72	-34.85	4.72	no
22	7.58	0.0095	5200	4.86	-41.72	4.86	no
23	8.38	0.0088	5980	5.45	-44.29	5.45	no
24	8.94	0.0081	6240	5.84	-41.88	5.84	no
25	17.29	0.0075	3540	0.00	-9.27	0.00	no
26	20.63	0.0069	2640	0.00	2.43	2.43	yes
27	21.37	0.0063	2640	0.00	4.67	4.67	yes
28	22.12	0.0058	2640	0.00	6.80	6.80	yes
29	22.86	0.0053	2640	0.00	8.80	8.80	yes
30	23.60	0.0049	2640	0.00	10.68	10.68	yes
31	24.34	0.0045	2640	0.00	12.43	12.43	yes
32	25.08	0.0042	2640	0.00	14.06	14.06	yes
33	25.83	0.0039	2640	0.00	15.58	15.58	yes
34	26.57	0.0036	2640	0.57	17.00	17.00	yes
35	27.31	0.0034	2640	1.31	18.32	18.32	yes
36	28.05	0.0032	2640	2.05	19.56	19.56	yes
37	28.79	0.0031	2640	2.79	20.72	20.72	yes
38	29.54	0.0029	2640	3.54	21.83	21.83	yes
39	30.28	0.0028	2640	4.28	22.89	22.89	yes
40	31.02	0.0027	2640	5.02	23.91	23.91	yes
41	31.76	0.0026	2640	5.76	24.91	24.91	yes
42	32.50	0.0025	2640	6.50	25.90	25.90	yes
43	33.25	0.0024	2640	7.25	26.89	26.89	yes
44	33.99	0.0023	2640	7.99	27.89	27.89	yes
45	34.73	0.0022	2640	8.73	28.92	28.92	yes
46	35.47	0.0021	2640	9.47	29.99	29.99	yes
47	36.21	0.0019	2640	10.21	31.11	31.11	yes
48	36.96	0.0018	2640	10.96	32.27	32.27	yes
49	37.70	0.0016	2640	11.70	33.51	33.51	yes
50	38.44	0.0014	2640	12.44	34.80	34.80	yes
51	39.18	0.0011	2640	13.18	36.16	36.16	yes
52	39.92	0.0009	2640	13.92	37.58	37.58	yes
53	40.67	0.0006	2640	14.67	39.06	39.06	yes
54	41.41	0.0003	2640	15.41	40.58	40.58	yes
55	20.98	0.0000	1320	7.98	20.98	20.98	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
13.5	0.3	0.0125	1560	3.9	19.77	3.90	no
14.5	1.0	0.0126	1560	4.5	20.67	4.54	no
15.5	1.7	0.0125	1560	5.2	21.30	5.20	no
16.5	2.4	0.0123	1605	6.0	22.20	6.04	no
17.5	3.1	0.0120	1740	7.3	24.00	7.32	no
18.5	3.8	0.0116	1770	8.2	24.30	8.15	no
19.5	4.5	0.0111	1860	9.2	25.08	9.21	no
20.5	4.5	0.0105	2695	12.3	32.66	12.28	no
21.5	2.7	0.0098	5200	21.6	53.71	21.60	no
22.5	3.1	0.0091	5460	24.3	53.07	24.29	no
23.5	3.7	0.0085	6240	25.8	56.61	25.81	no
24.5	5.4	0.0078	5340	25.4	47.12	25.41	no
25.5	9.6	0.0072	2640	16.8	28.62	16.84	no
26.5	10.4	0.0066	2640	17.6	27.81	17.59	no
27.5	11.1	0.0061	2640	18.3	27.11	18.33	no
28.5	11.9	0.0056	2640	19.1	26.53	19.07	no
29.5	12.6	0.0051	2640	19.8	26.08	19.81	no
30.5	13.3	0.0047	2640	20.6	25.75	20.55	no
31.5	14.1	0.0043	2640	21.3	25.54	21.30	no
32.5	14.8	0.0040	2640	22.0	25.45	22.04	no
33.5	15.6	0.0037	2640	22.8	25.46	22.78	no
34.5	16.3	0.0035	2640	23.5	25.58	23.52	no
35.5	17.1	0.0033	2640	24.3	25.78	24.26	no
36.5	17.8	0.0031	2640	25.0	26.07	25.01	no
37.5	18.5	0.0030	2640	25.7	26.42	25.75	no
38.5	19.3	0.0029	2640	26.5	26.82	26.49	no
39.5	20.0	0.0027	2640	27.2	27.27	27.23	no
40.5	20.8	0.0026	2640	28.0	27.74	27.74	yes
41.5	21.5	0.0025	2640	28.7	28.23	28.23	yes
42.5	22.2	0.0025	2640	29.5	28.73	28.73	yes
43.5	23.0	0.0024	2640	30.2	29.21	29.21	yes
44.5	23.7	0.0023	2640	30.9	29.68	29.68	yes
45.5	24.5	0.0021	2640	31.7	30.12	30.12	yes
46.5	25.2	0.0020	2640	32.4	30.51	30.51	yes
47.5	26.0	0.0019	2640	33.2	30.85	30.85	yes
48.5	26.7	0.0017	2640	33.9	31.14	31.14	yes
49.5	27.4	0.0015	2640	34.7	31.36	31.36	yes
50.5	28.2	0.0013	2640	35.4	31.52	31.52	yes
51.5	28.9	0.0010	2640	36.1	31.61	31.61	yes
52.5	29.7	0.0007	2640	36.9	31.64	31.64	yes
53.5	30.4	0.0005	2640	37.6	31.62	31.62	yes
54.5	31.2	0.0002	2640	38.4	31.56	31.56	yes

Deformasi pada Iterasi 5

H	δ (m)	H	δ (m)
2	0.0000	13.5	-0.0125
3	0.0016	14.5	-0.0126
4	0.0032	15.5	-0.0125
5	0.0048	16.5	-0.0123
6	0.0062	17.5	-0.0120
7	0.0075	18.5	-0.0116
8	0.0088	19.5	-0.0111
9	0.0098	20.5	-0.0105
10	0.0107	21.5	-0.0098
11	0.0114	22.5	-0.0091
12	0.0120	23.5	-0.0085
13	0.0124	24.5	-0.0078
14	0.0125	25.5	-0.0072
15	0.0126	26.5	-0.0066
16	0.0125	27.5	-0.0061
17	0.0122	28.5	-0.0056
18	0.0118	29.5	-0.0051
19	0.0113	30.5	-0.0047
20	0.0108	31.5	-0.0043
21	0.0101	32.5	-0.0040
22	0.0095	33.5	-0.0037
23	0.0088	34.5	-0.0035
24	0.0081	35.5	-0.0033
25	0.0075	36.5	-0.0031
26	0.0069	37.5	-0.0030
27	0.0063	38.5	-0.0029
28	0.0058	39.5	-0.0027
29	0.0053	40.5	-0.0026
30	0.0049	41.5	-0.0025
31	0.0045	42.5	-0.0025
32	0.0042	43.5	-0.0024
33	0.0039	44.5	-0.0023
34	0.0036	45.5	-0.0021
35	0.0034	46.5	-0.0020
36	0.0032	47.5	-0.0019
37	0.0031	48.5	-0.0017
38	0.0029	49.5	-0.0015
39	0.0028	50.5	-0.0013
40	0.0027	51.5	-0.0010
41	0.0026	52.5	-0.0007
42	0.0025	53.5	-0.0005
43	0.0024	54.5	-0.0002
44	0.0023		
45	0.0022		
46	0.0021		
47	0.0019		
48	0.0018		
49	0.0016		
50	0.0014		
51	0.0011		
52	0.0009		
53	0.0006		
54	0.0003		
55	0.0000		

Perhitungan Iterasi pada Model 3 Penggalan Tahap 2

Iterasi 1

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.41	0.0000	1632.0	0.0	3.41	3.41	yes
3	4.26	0.0016	1371.0	1.4	2.03	2.03	yes
4	4.86	0.0032	1284.0	3.5	0.72	3.46	no
5	5.47	0.0048	1320.0	3.5	-0.82	3.47	no
6	6.11	0.0062	1332.0	3.9	-2.16	3.91	no
7	6.72	0.0075	1345.5	4.3	-3.43	4.30	no
8	7.25	0.0088	1350.0	4.7	-4.57	4.75	no
9	7.81	0.0098	1390.5	4.6	-5.84	4.63	no
10	8.46	0.0107	1404.0	5.1	-6.57	5.06	no
11	9.15	0.0114	1548.0	3.3	-8.55	3.35	no
12	9.89	0.0120	1596.0	3.3	-9.23	3.29	no
13	10.63	0.0124	1569.0	4.5	-8.75	4.48	no
14	11.34	0.0125	1560.0	5.3	-8.23	5.34	no
15	12.04	0.0126	1560.0	6.0	-7.59	6.04	no
16	12.68	0.0125	1560.0	6.7	-6.75	6.68	no
17	13.35	0.0122	1695.0	5.1	-7.33	5.10	no
18	14.06	0.0118	1740.0	5.1	-6.50	5.06	no
19	14.78	0.0113	1830.0	4.3	-5.95	4.28	no
20	15.51	0.0108	1860.0	4.5	-4.51	4.51	no
21	9.41	0.0101	4365.0	4.7	-34.85	4.72	no
22	7.58	0.0095	5200.0	4.9	-41.72	4.86	no
23	8.38	0.0088	5980.0	5.5	-44.30	5.45	no
24	8.94	0.0081	6240.0	5.8	-41.88	5.84	no
25	17.29	0.0075	3540.0	0.0	-9.27	0.00	no
26	20.63	0.0069	2640.0	0.0	2.43	2.43	yes
27	21.37	0.0063	2640.0	0.0	4.67	4.67	yes
28	22.12	0.0058	2640.0	0.0	6.80	6.80	yes
29	22.86	0.0053	2640.0	0.0	8.80	8.80	yes
30	23.60	0.0049	2640.0	0.0	10.67	10.67	yes
31	24.34	0.0045	2640.0	0.0	12.43	12.43	yes
32	25.08	0.0042	2640.0	0.0	14.06	14.06	yes
33	25.83	0.0039	2640.0	0.0	15.58	15.58	yes
34	26.57	0.0036	2640.0	0.6	17.00	17.00	yes
35	27.31	0.0034	2640.0	1.3	18.32	18.32	yes
36	28.05	0.0032	2640.0	2.1	19.56	19.56	yes
37	28.79	0.0031	2640.0	2.8	20.72	20.72	yes
38	29.54	0.0029	2640.0	3.5	21.83	21.83	yes
39	30.28	0.0028	2640.0	4.3	22.89	22.89	yes
40	31.02	0.0027	2640.0	5.0	23.91	23.91	yes
41	31.76	0.0026	2640.0	5.8	24.91	24.91	yes
42	32.50	0.0025	2640.0	6.5	25.90	25.90	yes
43	33.25	0.0024	2640.0	7.2	26.89	26.89	yes
44	33.99	0.0023	2640.0	8.0	27.89	27.89	yes
45	34.73	0.0022	2641.0	8.7	28.92	28.92	yes
46	35.47	0.0021	2642.0	9.5	29.99	29.99	yes
47	36.21	0.0019	2643.0	10.2	31.10	31.10	yes
48	36.96	0.0018	2644.0	11.0	32.27	32.27	yes
49	37.70	0.0016	2645.0	11.7	33.50	33.50	yes
50	38.44	0.0014	2646.0	12.4	34.79	34.79	yes
51	39.18	0.0011	2647.0	13.2	36.15	36.15	yes
52	39.92	0.0009	2648.0	13.9	37.57	37.57	yes
53	40.67	0.0006	2649.0	14.7	39.06	39.06	yes
54	41.41	0.0003	2650.0	15.4	40.58	40.58	yes
55	19.13	0.0000	1320.0	6.1	19.13	19.13	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
21.5	0.18	0.0098	5200.0	4.92	51.20	4.92	no
22.5	0.59	0.0091	5460.0	5.43	50.52	5.43	no
23.5	1.07	0.0085	6240.0	7.41	53.95	7.41	no
24.5	1.97	0.0078	5340.0	10.20	43.72	10.20	no
25.5	3.98	0.0072	2640.0	11.19	22.97	11.19	no
26.5	4.72	0.0066	2640.0	11.93	22.16	11.93	no
27.5	5.47	0.0061	2640.0	12.68	21.46	12.68	no
28.5	6.21	0.0056	2640.0	13.42	20.88	13.42	no
29.5	6.95	0.0051	2640.0	14.16	20.42	14.16	no
30.5	7.69	0.0047	2640.0	14.90	20.09	14.90	no
31.5	8.43	0.0043	2640.0	15.64	19.89	15.64	no
32.5	9.18	0.0040	2640.0	16.39	19.80	16.39	no
33.5	9.92	0.0037	2640.0	17.13	19.81	17.13	no
34.5	10.66	0.0035	2640.0	17.87	19.93	17.87	no
35.5	11.40	0.0033	2640.0	18.61	20.13	18.61	no
36.5	12.14	0.0031	2640.0	19.35	20.42	19.35	no
37.5	12.89	0.0030	2640.0	20.10	20.77	20.10	no
38.5	13.63	0.0029	2640.0	20.84	21.17	20.84	no
39.5	14.37	0.0027	2640.0	21.58	21.62	21.58	no
40.5	15.11	0.0026	2640.0	22.32	22.09	22.09	yes
41.5	15.85	0.0025	2640.0	23.06	22.58	22.58	yes
42.5	16.60	0.0025	2640.0	23.81	23.08	23.08	yes
43.5	17.34	0.0024	2640.0	24.55	23.57	23.57	yes
44.5	18.08	0.0023	2640.0	25.29	24.03	24.03	yes
45.5	18.82	0.0021	2640.0	26.03	24.47	24.47	yes
46.5	19.56	0.0020	2640.0	26.77	24.86	24.86	yes
47.5	20.31	0.0019	2640.0	27.52	25.21	25.21	yes
48.5	21.05	0.0017	2640.0	28.26	25.49	25.49	yes
49.5	21.79	0.0015	2640.0	29.00	25.71	25.71	yes
50.5	22.53	0.0013	2640.0	29.74	25.87	25.87	yes
51.5	23.27	0.0010	2640.0	30.48	25.96	25.96	yes
52.5	24.02	0.0007	2640.0	31.23	25.99	25.99	yes
53.5	24.76	0.0005	2640.0	31.97	25.97	25.97	yes
54.5	25.50	0.0002	2640.0	32.71	25.91	25.91	yes

Deformasi pada Iterasi 1

H	δ (m)		H
2	0.0000	21.5	-0.0194
3	0.0014	22.5	-0.0194
4	0.0028	23.5	-0.0193
5	0.0042	24.5	-0.0191
6	0.0055	25.5	-0.0188
7	0.0069	26.5	-0.0183
8	0.0082	27.5	-0.0179
9	0.0095	28.5	-0.0173
10	0.0107	29.5	-0.0168
11	0.0120	30.5	-0.0161
12	0.0131	31.5	-0.0155
13	0.0143	32.5	-0.0148
14	0.0153	33.5	-0.0142
15	0.0163	34.5	-0.0135
16	0.0171	35.5	-0.0128
17	0.0178	36.5	-0.0121
18	0.0184	37.5	-0.0114
19	0.0189	38.5	-0.0107
20	0.0192	39.5	-0.0101
21	0.0194	40.5	-0.0094
22	0.0194	41.5	-0.0088
23	0.0194	42.5	-0.0081
24	0.0192	43.5	-0.0075
25	0.0189	44.5	-0.0069
26	0.0186	45.5	-0.0062
27	0.0181	46.5	-0.0056
28	0.0176	47.5	-0.0050
29	0.0171	48.5	-0.0044
30	0.0165	49.5	-0.0037
31	0.0158	50.5	-0.0031
32	0.0152	51.5	-0.0024
33	0.0145	52.5	-0.0017
34	0.0138	53.5	-0.0011
35	0.0131	54.5	-0.0004
36	0.0125		
37	0.0118		
38	0.0111		
39	0.0104		
40	0.0097		
41	0.0091		
42	0.0084		
43	0.0078		
44	0.0072		
45	0.0066		
46	0.0059		
47	0.0053		
48	0.0047		
49	0.0041		
50	0.0034		
51	0.0027		
52	0.0021		
53	0.0014		
54	0.0007		
55	0.0000		

Iterasi 2

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.4071	0	1632	0	3.41	3.41	yes
3	4.2586	0.001399	1371	1.4086382	2.34	2.34	yes
4	4.861	0.002789	1284	3.4609674	1.28	3.46	no
5	5.4674	0.004167	1320	3.4674361	-0.03	3.47	no
6	6.1117	0.005525	1332	3.9117174	-1.25	3.91	no
7	6.7226	0.006861	1345.5	4.2975611	-2.51	4.30	no
8	7.2475	0.00817	1350	4.7474674	-3.78	4.75	no
9	7.8076	0.009452	1390.5	4.6325611	-5.34	4.63	no
10	8.4632	0.010707	1404	5.0632174	-6.57	5.06	no
11	9.1471	0.01195	1548	3.3471236	-9.35	3.35	no
12	9.8895	0.013146	1596	3.2894674	-11.09	3.29	no
13	10.627	0.014277	1569	4.4765924	-11.77	4.48	no
14	11.344	0.015324	1560	5.3444674	-12.56	5.34	no
15	12.04	0.016273	1560	6.0403736	-13.35	6.04	no
16	12.685	0.017111	1560	6.6847174	-14.01	6.68	no
17	13.348	0.017828	1695	5.0980924	-16.87	5.10	no
18	14.064	0.018416	1740	5.0637174	-17.98	5.06	no
19	14.784	0.018871	1830	4.2836861	-19.75	4.28	no
20	15.508	0.019192	1860	4.5084674	-20.19	4.51	no
21	9.4099	0.01938	4365	4.7162474	-75.18	4.72	no
22	7.5762	0.019439	5200	4.8590828	-93.51	4.86	no
23	8.3776	0.019376	5980	5.4518328	-107.49	5.45	no
24	8.9389	0.019201	6240	5.8427413	-110.88	5.84	no
25	17.289	0.018924	3540	0	-49.70	0.00	no
26	20.632	0.018557	2640	0	-28.36	0.00	no
27	21.374	0.018116	2640	0	-26.45	0.00	no
28	22.116	0.017612	2640	0	-24.38	0.00	no
29	22.858	0.017057	2640	0	-22.17	0.00	no
30	23.6	0.01646	2640	0	-19.85	0.00	no
31	24.342	0.015831	2640	0	-17.45	0.00	no
32	25.084	0.015178	2640	0	-14.99	0.00	no
33	25.826	0.014508	2640	0	-12.48	0.00	no
34	26.568	0.013828	2640	0.5677174	-9.94	0.57	no
35	27.31	0.013141	2640	1.3097174	-7.38	1.31	no
36	28.052	0.012453	2640	2.0517174	-4.82	2.05	no
37	28.794	0.011767	2640	2.7937174	-2.27	2.79	no
38	29.536	0.011085	2640	3.5357174	0.27	3.54	no
39	30.278	0.01041	2640	4.2777174	2.80	4.28	no
40	31.02	0.009743	2640	5.0197174	5.30	5.30	yes
41	31.762	0.009087	2640	5.7617174	7.77	7.77	yes
42	32.504	0.008441	2640	6.5037174	10.22	10.22	yes
43	33.246	0.007806	2640	7.2457174	12.64	12.64	yes
44	33.988	0.007178	2640	7.9877174	15.04	15.04	yes
45	34.73	0.006556	2641	8.7297174	17.42	17.42	yes
46	35.472	0.005935	2642	9.4717174	19.79	19.79	yes
47	36.214	0.005313	2643	10.213717	22.17	22.17	yes
48	36.956	0.004686	2644	10.955717	24.57	24.57	yes
49	37.698	0.004051	2645	11.697717	26.98	26.98	yes
50	38.44	0.003405	2646	12.439717	29.43	29.43	yes
51	39.182	0.002748	2647	13.181717	31.91	31.91	yes
52	39.924	0.002078	2648	13.923717	34.42	34.42	yes
53	40.666	0.001396	2649	14.665717	36.97	36.97	yes
54	41.408	0.000704	2650	15.407717	39.54	39.54	yes
55	19.127	0	1320	6.1271087	19.13	19.13	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
21.5	0.2	0.0194	5200.0	4.9	101.19	4.92	no
22.5	0.6	0.0194	5460.0	5.4	106.64	5.43	no
23.5	1.1	0.0193	6240.0	7.4	121.52	7.41	no
24.5	2.0	0.0191	5340.0	10.2	103.82	10.20	no
25.5	4.0	0.0188	2640.0	11.2	53.48	11.19	no
26.5	4.7	0.0183	2640.0	11.9	53.15	11.93	no
27.5	5.5	0.0179	2640.0	12.7	52.64	12.68	no
28.5	6.2	0.0173	2640.0	13.4	51.99	13.42	no
29.5	6.9	0.0168	2640.0	14.2	51.20	14.16	no
30.5	7.7	0.0161	2640.0	14.9	50.32	14.90	no
31.5	8.4	0.0155	2640.0	15.6	49.37	15.64	no
32.5	9.2	0.0148	2640.0	16.4	48.37	16.39	no
33.5	9.9	0.0142	2640.0	17.1	47.32	17.13	no
34.5	10.7	0.0135	2640.0	17.9	46.26	17.87	no
35.5	11.4	0.0128	2640.0	18.6	45.19	18.61	no
36.5	12.1	0.0121	2640.0	19.4	44.11	19.35	no
37.5	12.9	0.0114	2640.0	20.1	43.05	20.10	no
38.5	13.6	0.0107	2640.0	20.8	42.00	20.84	no
39.5	14.4	0.0101	2640.0	21.6	40.97	21.58	no
40.5	15.1	0.0094	2640.0	22.3	39.96	22.32	no
41.5	15.9	0.0088	2640.0	23.1	38.99	23.06	no
42.5	16.6	0.0081	2640.0	23.8	38.04	23.81	no
43.5	17.3	0.0075	2640.0	24.5	37.11	24.55	no
44.5	18.1	0.0069	2640.0	25.3	36.21	25.29	no
45.5	18.8	0.0062	2640.0	26.0	35.31	26.03	no
46.5	19.6	0.0056	2640.0	26.8	34.41	26.77	no
47.5	20.3	0.0050	2640.0	27.5	33.50	27.52	no
48.5	21.0	0.0044	2640.0	28.3	32.58	28.26	no
49.5	21.8	0.0037	2640.0	29.0	31.63	29.00	no
50.5	22.5	0.0031	2640.0	29.7	30.66	29.74	no
51.5	23.3	0.0024	2640.0	30.5	29.65	29.65	yes
52.5	24.0	0.0017	2640.0	31.2	28.60	28.60	yes
53.5	24.8	0.0011	2640.0	32.0	27.53	27.53	yes
54.5	25.5	0.0004	2640.0	32.7	26.43	26.43	yes

Deformasi pada Iterasi 2

H	Deform	H	Deform
2	0.0000	21.5	-0.021914
3	0.0014	22.5	-0.022149
4	0.0027	23.5	-0.022253
5	0.0040	24.5	-0.02223
6	0.0054	25.5	-0.02209
7	0.0067	26.5	-0.021841
8	0.0080	27.5	-0.021493
9	0.0094	28.5	-0.021054
10	0.0107	29.5	-0.020536
11	0.0121	30.5	-0.019948
12	0.0134	31.5	-0.019301
13	0.0147	32.5	-0.018602
14	0.0160	33.5	-0.017863
15	0.0171	34.5	-0.01709
16	0.0182	35.5	-0.016293
17	0.0192	36.5	-0.015478
18	0.0200	37.5	-0.01465
19	0.0207	38.5	-0.013817
20	0.0213	39.5	-0.01298
21	0.0217	40.5	-0.012145
22	0.0220	41.5	-0.011312
23	0.0222	42.5	-0.010483
24	0.0223	43.5	-0.009658
25	0.0222	44.5	-0.008835
26	0.0220	45.5	-0.008014
27	0.0217	46.5	-0.007193
28	0.0213	47.5	-0.00637
29	0.0208	48.5	-0.005544
30	0.0203	49.5	-0.004712
31	0.0196	50.5	-0.003873
32	0.0190	51.5	-0.003026
33	0.0182	52.5	-0.002171
34	0.0175	53.5	-0.001308
35	0.0167	54.5	-0.000438
36	0.0159		
37	0.0151		
38	0.0142		
39	0.0134		
40	0.0126		
41	0.0117		
42	0.0109		
43	0.0101		
44	0.0092		
45	0.0084		
46	0.0076		
47	0.0068		
48	0.0060		
49	0.0051		
50	0.0043		
51	0.0035		
52	0.0026		
53	0.0017		
54	0.0009		
55	0.0000		

Iterasi 3

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.4071	0	1632	0	3.41	3.41	yes
3	4.2586	0.001399	1371	1.4086382	2.34	2.34	yes
4	4.861	0.002789	1284	3.4609674	1.28	3.46	no
5	5.4674	0.004167	1320	3.4674361	-0.03	3.47	no
6	6.1117	0.005525	1332	3.9117174	-1.25	3.91	no
7	6.7226	0.006861	1345.5	4.2975611	-2.51	4.30	no
8	7.2475	0.00817	1350	4.7474674	-3.78	4.75	no
9	7.8076	0.009452	1390.5	4.6325611	-5.34	4.63	no
10	8.4632	0.010707	1404	5.0632174	-6.57	5.06	no
11	9.1471	0.01195	1548	3.3471236	-9.35	3.35	no
12	9.8895	0.013146	1596	3.2894674	-11.09	3.29	no
13	10.627	0.014277	1569	4.4765924	-11.77	4.48	no
14	11.344	0.015324	1560	5.3444674	-12.56	5.34	no
15	12.04	0.016273	1560	6.0403736	-13.35	6.04	no
16	12.685	0.017111	1560	6.6847174	-14.01	6.68	no
17	13.348	0.017828	1695	5.0980924	-16.87	5.10	no
18	14.064	0.018416	1740	5.0637174	-17.98	5.06	no
19	14.784	0.018871	1830	4.2836861	-19.75	4.28	no
20	15.508	0.019192	1860	4.5084674	-20.19	4.51	no
21	9.4099	0.01938	4365	4.7162474	-75.18	4.72	no
22	7.5762	0.019439	5200	4.8590828	-93.51	4.86	no
23	8.3776	0.019376	5980	5.4518328	-107.49	5.45	no
24	8.9389	0.019201	6240	5.8427413	-110.88	5.84	no
25	17.289	0.018924	3540	0	-49.70	0.00	no
26	20.632	0.018557	2640	0	-28.36	0.00	no
27	21.374	0.018116	2640	0	-26.45	0.00	no
28	22.116	0.017612	2640	0	-24.38	0.00	no
29	22.858	0.017057	2640	0	-22.17	0.00	no
30	23.6	0.01646	2640	0	-19.85	0.00	no
31	24.342	0.015831	2640	0	-17.45	0.00	no
32	25.084	0.015178	2640	0	-14.99	0.00	no
33	25.826	0.014508	2640	0	-12.48	0.00	no
34	26.568	0.013828	2640	0.5677174	-9.94	0.57	no
35	27.31	0.013141	2640	1.3097174	-7.38	1.31	no
36	28.052	0.012453	2640	2.0517174	-4.82	2.05	no
37	28.794	0.011767	2640	2.7937174	-2.27	2.79	no
38	29.536	0.011085	2640	3.5357174	0.27	3.54	no
39	30.278	0.01041	2640	4.2777174	2.80	4.28	no
40	31.02	0.009743	2640	5.0197174	5.30	5.30	yes
41	31.762	0.009087	2640	5.7617174	7.77	7.77	yes
42	32.504	0.008441	2640	6.5037174	10.22	10.22	yes
43	33.246	0.007806	2640	7.2457174	12.64	12.64	yes
44	33.988	0.007178	2640	7.9877174	15.04	15.04	yes
45	34.73	0.006556	2641	8.7297174	17.42	17.42	yes
46	35.472	0.005935	2642	9.4717174	19.79	19.79	yes
47	36.214	0.005313	2643	10.213717	22.17	22.17	yes
48	36.956	0.004686	2644	10.955717	24.57	24.57	yes
49	37.698	0.004051	2645	11.697717	26.98	26.98	yes
50	38.44	0.003405	2646	12.439717	29.43	29.43	yes
51	39.182	0.002748	2647	13.181717	31.91	31.91	yes
52	39.924	0.002078	2648	13.923717	34.42	34.42	yes
53	40.666	0.001396	2649	14.665717	36.97	36.97	yes
54	41.408	0.000704	2650	15.407717	39.54	39.54	yes
55	19.127	0	1320	6.1271087	19.13	19.13	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
21.5	0.2	0.0221	5200.0	4.9	115.35	4.92	no
22.5	0.6	0.0223	5460.0	5.4	122.10	5.43	no
23.5	1.1	0.0222	6240.0	7.4	139.79	7.41	no
24.5	2.0	0.0221	5340.0	10.2	119.93	10.20	no
25.5	4.0	0.0218	2640.0	11.2	61.64	11.19	no
26.5	4.7	0.0215	2640.0	11.9	61.47	11.93	no
27.5	5.5	0.0211	2640.0	12.7	61.05	12.68	no
28.5	6.2	0.0205	2640.0	13.4	60.42	13.42	no
29.5	6.9	0.0199	2640.0	14.2	59.61	14.16	no
30.5	7.7	0.0193	2640.0	14.9	58.65	14.90	no
31.5	8.4	0.0186	2640.0	15.6	57.54	15.64	no
32.5	9.2	0.0179	2640.0	16.4	56.33	16.39	no
33.5	9.9	0.0171	2640.0	17.1	55.04	17.13	no
34.5	10.7	0.0163	2640.0	17.9	53.67	17.87	no
35.5	11.4	0.0155	2640.0	18.6	52.26	18.61	no
36.5	12.1	0.0147	2640.0	19.4	50.82	19.35	no
37.5	12.9	0.0138	2640.0	20.1	49.36	20.10	no
38.5	13.6	0.0130	2640.0	20.8	47.89	20.84	no
39.5	14.4	0.0121	2640.0	21.6	46.43	21.58	no
40.5	15.1	0.0113	2640.0	22.3	44.98	22.32	no
41.5	15.9	0.0105	2640.0	23.1	43.53	23.06	no
42.5	16.6	0.0097	2640.0	23.8	42.09	23.81	no
43.5	17.3	0.0088	2640.0	24.5	40.66	24.55	no
44.5	18.1	0.0080	2640.0	25.3	39.24	25.29	no
45.5	18.8	0.0072	2640.0	26.0	37.81	26.03	no
46.5	19.6	0.0064	2640.0	26.8	36.38	26.77	no
47.5	20.3	0.0055	2640.0	27.5	34.94	27.52	no
48.5	21.0	0.0047	2640.0	28.3	33.49	28.26	no
49.5	21.8	0.0039	2640.0	29.0	32.01	29.00	no
50.5	22.5	0.0030	2640.0	29.7	30.52	29.74	no
51.5	23.3	0.0022	2640.0	30.5	29.00	29.00	yes
52.5	24.0	0.0013	2640.0	31.2	27.47	27.47	yes
53.5	24.8	0.0004	2640.0	32.0	25.91	25.91	yes
54.5	25.5	0.0000	2640.0	32.7	25.50	25.50	yes

Deformasi pada Iterasi 3

H	Deform	H	Deform
2	0.0000	21.5	-0.021627
3	0.0014	22.5	-0.02183
4	0.0027	23.5	-0.021901
5	0.0041	24.5	-0.021846
6	0.0054	25.5	-0.021674
7	0.0067	26.5	-0.021394
8	0.0081	27.5	-0.021016
9	0.0094	28.5	-0.02055
10	0.0107	29.5	-0.020006
11	0.0121	30.5	-0.019394
12	0.0134	31.5	-0.018725
13	0.0147	32.5	-0.018008
14	0.0159	33.5	-0.017253
15	0.0170	34.5	-0.016469
16	0.0181	35.5	-0.015663
17	0.0190	36.5	-0.014843
18	0.0198	37.5	-0.014016
19	0.0205	38.5	-0.013187
20	0.0211	39.5	-0.01236
21	0.0215	40.5	-0.011539
22	0.0217	41.5	-0.010727
23	0.0219	42.5	-0.009924
24	0.0219	43.5	-0.009131
25	0.0218	44.5	-0.008345
26	0.0215	45.5	-0.007565
27	0.0212	46.5	-0.006787
28	0.0208	47.5	-0.006009
29	0.0203	48.5	-0.00523
30	0.0197	49.5	-0.004445
31	0.0191	50.5	-0.003655
32	0.0184	51.5	-0.002857
33	0.0176	52.5	-0.00205
34	0.0169	53.5	-0.001236
35	0.0161	54.5	-0.000414
36	0.0153		
37	0.0144		
38	0.0136		
39	0.0128		
40	0.0119		
41	0.0111		
42	0.0103		
43	0.0095		
44	0.0087		
45	0.0080		
46	0.0072		
47	0.0064		
48	0.0056		
49	0.0048		
50	0.0041		
51	0.0033		
52	0.0025		
53	0.0016		
54	0.0008		
55	0.0000		

Iterasi 4

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.4071	0	1632	0	3.41	3.41	yes
3	4.2586	0.001357	1371	1.4086382	2.40	2.40	yes
4	4.861	0.00271	1284	3.4609674	1.38	3.46	no
5	5.4674	0.004058	1320	3.4674361	0.11	3.47	no
6	6.1117	0.005398	1332	3.9117174	-1.08	3.91	no
7	6.7226	0.006732	1345.5	4.2975611	-2.34	4.30	no
8	7.2475	0.008059	1350	4.7474674	-3.63	4.75	no
9	7.8076	0.009383	1390.5	4.6325611	-5.24	4.63	no
10	8.4632	0.010707	1404	5.0632174	-6.57	5.06	no
11	9.1471	0.012055	1548	3.3471236	-9.51	3.35	no
12	9.8895	0.013385	1596	3.2894674	-11.47	3.29	no
13	10.627	0.014674	1569	4.4765924	-12.40	4.48	no
14	11.344	0.0159	1560	5.3444674	-13.46	5.34	no
15	12.04	0.017045	1560	6.0403736	-14.55	6.04	no
16	12.685	0.018091	1560	6.6847174	-15.54	6.68	no
17	13.348	0.019027	1695	5.0980924	-18.90	5.10	no
18	14.064	0.019839	1740	5.0637174	-20.46	5.06	no
19	14.784	0.020521	1830	4.2836861	-22.77	4.28	no
20	15.508	0.021067	1860	4.5084674	-23.68	4.51	no
21	9.4099	0.021475	4365	4.7162474	-84.33	4.72	no
22	7.5762	0.021745	5200	4.8590828	-105.50	4.86	no
23	8.3776	0.021882	5980	5.4518328	-122.48	5.45	no
24	8.9389	0.021889	6240	5.8427413	-127.65	5.84	no
25	17.289	0.021774	3540	0	-59.79	0.00	no
26	20.632	0.021547	2640	0	-36.25	0.00	no
27	21.374	0.021217	2640	0	-34.64	0.00	no
28	22.116	0.020793	2640	0	-32.78	0.00	no
29	22.858	0.020287	2640	0	-30.70	0.00	no
30	23.6	0.019708	2640	0	-28.43	0.00	no
31	24.342	0.019066	2640	0	-25.99	0.00	no
32	25.084	0.018372	2640	0	-23.42	0.00	no
33	25.826	0.017635	2640	0	-20.73	0.00	no
34	26.568	0.016864	2640	0.5677174	-17.95	0.57	no
35	27.31	0.016068	2640	1.3097174	-15.11	1.31	no
36	28.052	0.015255	2640	2.0517174	-12.22	2.05	no
37	28.794	0.014431	2640	2.7937174	-9.30	2.79	no
38	29.536	0.013602	2640	3.5357174	-6.37	3.54	no
39	30.278	0.012773	2640	4.2777174	-3.44	4.28	no
40	31.02	0.011949	2640	5.0197174	-0.53	5.02	no
41	31.762	0.011132	2640	5.7617174	2.37	5.76	no
42	32.504	0.010324	2640	6.5037174	5.25	6.50	no
43	33.246	0.009526	2640	7.2457174	8.10	8.10	yes
44	33.988	0.008738	2640	7.9877174	10.92	10.92	yes
45	34.73	0.007955	2641	8.7297174	13.72	13.72	yes
46	35.472	0.007176	2642	9.4717174	16.51	16.51	yes
47	36.214	0.006399	2643	10.213717	19.30	19.30	yes
48	36.956	0.005621	2644	10.955717	22.09	22.09	yes
49	37.698	0.004839	2645	11.697717	24.90	24.90	yes
50	38.44	0.004052	2646	12.439717	27.72	27.72	yes
51	39.182	0.003257	2647	13.181717	30.56	30.56	yes
52	39.924	0.002455	2648	13.923717	33.42	33.42	yes
53	40.666	0.001645	2649	14.665717	36.31	36.31	yes
54	41.408	0.000827	2650	15.407717	39.22	39.22	yes
55	19.127	0	1320	6.1271087	19.13	19.13	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
21.5	0.2	0.0218	5200.0	4.9	113.69	4.92	no
22.5	0.6	0.0219	5460.0	5.4	120.17	5.43	no
23.5	1.1	0.0218	6240.0	7.4	137.39	7.41	no
24.5	2.0	0.0217	5340.0	10.2	117.70	10.20	no
25.5	4.0	0.0214	2640.0	11.2	60.46	11.19	no
26.5	4.7	0.0210	2640.0	11.9	60.21	11.93	no
27.5	5.5	0.0206	2640.0	12.7	59.72	12.68	no
28.5	6.2	0.0200	2640.0	13.4	59.02	13.42	no
29.5	6.9	0.0194	2640.0	14.2	58.15	14.16	no
30.5	7.7	0.0187	2640.0	14.9	57.13	14.90	no
31.5	8.4	0.0180	2640.0	15.6	55.97	15.64	no
32.5	9.2	0.0173	2640.0	16.4	54.72	16.39	no
33.5	9.9	0.0165	2640.0	17.1	53.40	17.13	no
34.5	10.7	0.0157	2640.0	17.9	52.01	17.87	no
35.5	11.4	0.0148	2640.0	18.6	50.59	18.61	no
36.5	12.1	0.0140	2640.0	19.4	49.15	19.35	no
37.5	12.9	0.0132	2640.0	20.1	47.70	20.10	no
38.5	13.6	0.0124	2640.0	20.8	46.26	20.84	no
39.5	14.4	0.0115	2640.0	21.6	44.83	21.58	no
40.5	15.1	0.0107	2640.0	22.3	43.43	22.32	no
41.5	15.9	0.0099	2640.0	23.1	42.05	23.06	no
42.5	16.6	0.0091	2640.0	23.8	40.70	23.81	no
43.5	17.3	0.0083	2640.0	24.5	39.37	24.55	no
44.5	18.1	0.0076	2640.0	25.3	38.05	25.29	no
45.5	18.8	0.0068	2640.0	26.0	36.74	26.03	no
46.5	19.6	0.0060	2640.0	26.8	35.43	26.77	no
47.5	20.3	0.0052	2640.0	27.5	34.11	27.52	no
48.5	21.0	0.0044	2640.0	28.3	32.78	28.26	no
49.5	21.8	0.0037	2640.0	29.0	31.44	29.00	no
50.5	22.5	0.0029	2640.0	29.7	30.07	29.74	no
51.5	23.3	0.0021	2640.0	30.5	28.69	28.69	yes
52.5	24.0	0.0012	2640.0	31.2	27.28	27.28	yes
53.5	24.8	0.0004	2640.0	32.0	25.85	25.85	yes
54.5	25.5	0.0000	2640.0	32.7	25.50	25.50	yes

Deformasi pada Iterasi 4

H	Deform	H	Deform
2	0.0000	21.5	-0.021778
3	0.0014	22.5	-0.021998
4	0.0027	23.5	-0.022086
5	0.0041	24.5	-0.022049
6	0.0054	25.5	-0.021893
7	0.0067	26.5	-0.02163
8	0.0081	27.5	-0.021268
9	0.0094	28.5	-0.020817
10	0.0107	29.5	-0.020286
11	0.0121	30.5	-0.019688
12	0.0134	31.5	-0.01903
13	0.0147	32.5	-0.018323
14	0.0159	33.5	-0.017577
15	0.0171	34.5	-0.016799
16	0.0182	35.5	-0.015999
17	0.0191	36.5	-0.015182
18	0.0199	37.5	-0.014355
19	0.0206	38.5	-0.013524
20	0.0212	39.5	-0.012693
21	0.0216	40.5	-0.011866
22	0.0219	41.5	-0.011043
23	0.0221	42.5	-0.010228
24	0.0221	43.5	-0.009418
25	0.0220	44.5	-0.008614
26	0.0218	45.5	-0.007812
27	0.0215	46.5	-0.007011
28	0.0211	47.5	-0.006209
29	0.0206	48.5	-0.005403
30	0.0200	49.5	-0.004593
31	0.0194	50.5	-0.003776
32	0.0187	51.5	-0.002951
33	0.0180	52.5	-0.002118
34	0.0172	53.5	-0.001276
35	0.0164	54.5	-0.000427
36	0.0156		
37	0.0148		
38	0.0139		
39	0.0131		
40	0.0123		
41	0.0115		
42	0.0106		
43	0.0098		
44	0.0090		
45	0.0082		
46	0.0074		
47	0.0066		
48	0.0058		
49	0.0050		
50	0.0042		
51	0.0034		
52	0.0025		
53	0.0017		
54	0.0009		
55	0.0000		

Iterasi 5

Tekanan Tanah di Belakang Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pa Min (t)	Pa	Pa Actual	Spring
2	3.4071	0	1632	0	3.41	3.41	yes
3	4.2586	0.001354	1371	1.4086382	2.40	2.40	yes
4	4.861	0.002705	1284	3.4609674	1.39	3.46	no
5	5.4674	0.004051	1320	3.4674361	0.12	3.47	no
6	6.1117	0.005391	1332	3.9117174	-1.07	3.91	no
7	6.7226	0.006724	1345.5	4.2975611	-2.32	4.30	no
8	7.2475	0.008052	1350	4.7474674	-3.62	4.75	no
9	7.8076	0.009379	1390.5	4.6325611	-5.23	4.63	no
10	8.4632	0.010707	1404	5.0632174	-6.57	5.06	no
11	9.1471	0.012062	1548	3.3471236	-9.52	3.35	no
12	9.8895	0.0134	1596	3.2894674	-11.50	3.29	no
13	10.627	0.014698	1569	4.4765924	-12.43	4.48	no
14	11.344	0.015936	1560	5.3444674	-13.52	5.34	no
15	12.04	0.017093	1560	6.0403736	-14.62	6.04	no
16	12.685	0.018153	1560	6.6847174	-15.63	6.68	no
17	13.348	0.019103	1695	5.0980924	-19.03	5.10	no
18	14.064	0.019931	1740	5.0637174	-20.62	5.06	no
19	14.784	0.02063	1830	4.2836861	-22.97	4.28	no
20	15.508	0.021192	1860	4.5084674	-23.91	4.51	no
21	9.4099	0.021617	4365	4.7162474	-84.95	4.72	no
22	7.5762	0.021905	5200	4.8590828	-106.33	4.86	no
23	8.3776	0.022059	5980	5.4518328	-123.54	5.45	no
24	8.9389	0.022083	6240	5.8427413	-128.86	5.84	no
25	17.289	0.021985	3540	0	-60.54	0.00	no
26	20.632	0.021775	2640	0	-36.85	0.00	no
27	21.374	0.021461	2640	0	-35.28	0.00	no
28	22.116	0.021053	2640	0	-33.46	0.00	no
29	22.858	0.020561	2640	0	-31.42	0.00	no
30	23.6	0.019995	2640	0	-29.19	0.00	no
31	24.342	0.019366	2640	0	-26.78	0.00	no
32	25.084	0.018682	2640	0	-24.24	0.00	no
33	25.826	0.017955	2640	0	-21.58	0.00	no
34	26.568	0.017192	2640	0.5677174	-18.82	0.57	no
35	27.31	0.016402	2640	1.3097174	-15.99	1.31	no
36	28.052	0.015592	2640	2.0517174	-13.11	2.05	no
37	28.794	0.01477	2640	2.7937174	-10.20	2.79	no
38	29.536	0.01394	2640	3.5357174	-7.27	3.54	no
39	30.278	0.013109	2640	4.2777174	-4.33	4.28	no
40	31.02	0.012279	2640	5.0197174	-1.40	5.02	no
41	31.762	0.011454	2640	5.7617174	1.52	5.76	no
42	32.504	0.010635	2640	6.5037174	4.43	6.50	no
43	33.246	0.009823	2640	7.2457174	7.31	7.31	yes
44	33.988	0.009016	2640	7.9877174	10.19	10.19	yes
45	34.73	0.008213	2641	8.7297174	13.04	13.04	yes
46	35.472	0.007412	2642	9.4717174	15.89	15.89	yes
47	36.214	0.006611	2643	10.213717	18.74	18.74	yes
48	36.956	0.005807	2644	10.955717	21.60	21.60	yes
49	37.698	0.005	2645	11.697717	24.47	24.47	yes
50	38.44	0.004186	2646	12.439717	27.36	27.36	yes
51	39.182	0.003365	2647	13.181717	30.27	30.27	yes
52	39.924	0.002536	2648	13.923717	33.21	33.21	yes
53	40.666	0.001699	2649	14.665717	36.17	36.17	yes
54	41.408	0.000854	2650	15.407717	39.14	39.14	yes
55	19.127	0	1320	6.1271087	19.13	19.13	yes

Tekanan Tanah di Depan Dinding

H	P0	Deformation (m)	ks (t/m3)	Pp Max (t)	Pp	Actual Pp	Spring
21.5	0.2	0.0220	5200.0	4.9	114.56	4.92	no
22.5	0.6	0.0221	5460.0	5.4	121.18	5.43	no
23.5	1.1	0.0220	6240.0	7.4	138.66	7.41	no
24.5	2.0	0.0219	5340.0	10.2	118.87	10.20	no
25.5	4.0	0.0216	2640.0	11.2	61.08	11.19	no
26.5	4.7	0.0213	2640.0	11.9	60.87	11.93	no
27.5	5.5	0.0208	2640.0	12.7	60.42	12.68	no
28.5	6.2	0.0203	2640.0	13.4	59.76	13.42	no
29.5	6.9	0.0197	2640.0	14.2	58.93	14.16	no
30.5	7.7	0.0190	2640.0	14.9	57.93	14.90	no
31.5	8.4	0.0183	2640.0	15.6	56.81	15.64	no
32.5	9.2	0.0176	2640.0	16.4	55.58	16.39	no
33.5	9.9	0.0168	2640.0	17.1	54.27	17.13	no
34.5	10.7	0.0160	2640.0	17.9	52.90	17.87	no
35.5	11.4	0.0152	2640.0	18.6	51.48	18.61	no
36.5	12.1	0.0144	2640.0	19.4	50.04	19.35	no
37.5	12.9	0.0135	2640.0	20.1	48.59	20.10	no
38.5	13.6	0.0127	2640.0	20.8	47.14	20.84	no
39.5	14.4	0.0119	2640.0	21.6	45.70	21.58	no
40.5	15.1	0.0110	2640.0	22.3	44.27	22.32	no
41.5	15.9	0.0102	2640.0	23.1	42.86	23.06	no
42.5	16.6	0.0094	2640.0	23.8	41.46	23.81	no
43.5	17.3	0.0086	2640.0	24.5	40.08	24.55	no
44.5	18.1	0.0078	2640.0	25.3	38.70	25.29	no
45.5	18.8	0.0070	2640.0	26.0	37.33	26.03	no
46.5	19.6	0.0062	2640.0	26.8	35.96	26.77	no
47.5	20.3	0.0054	2640.0	27.5	34.57	27.52	no
48.5	21.0	0.0046	2640.0	28.3	33.17	28.26	no
49.5	21.8	0.0038	2640.0	29.0	31.76	29.00	no
50.5	22.5	0.0030	2640.0	29.7	30.32	29.74	no
51.5	23.3	0.0021	2640.0	30.5	28.87	28.87	yes
52.5	24.0	0.0013	2640.0	31.2	27.38	27.38	yes
53.5	24.8	0.0004	2640.0	32.0	25.88	25.88	yes
54.5	25.5	0.0000	2640.0	32.7	25.50	25.50	yes

Deformasi pada Iterasi 5

H	δ (m)	H	δ (m)
2	0.0000	21.5	-0.022
3	0.0014	22.5	-0.022
4	0.0027	23.5	-0.022
5	0.0041	24.5	-0.022
6	0.0054	25.5	-0.022
7	0.0067	26.5	-0.022
8	0.0081	27.5	-0.021
9	0.0094	28.5	-0.021
10	0.0107	29.5	-0.020
11	0.0121	30.5	-0.020
12	0.0134	31.5	-0.019
13	0.0147	32.5	-0.018
14	0.0159	33.5	-0.018
15	0.0171	34.5	-0.017
16	0.0182	35.5	-0.016
17	0.0191	36.5	-0.015
18	0.0199	37.5	-0.014
19	0.0206	38.5	-0.014
20	0.0212	39.5	-0.013
21	0.0216	40.5	-0.012
22	0.0219	41.5	-0.011
23	0.0221	42.5	-0.010
24	0.0221	43.5	-0.009
25	0.0220	44.5	-0.009
26	0.0218	45.5	-0.008
27	0.0215	46.5	-0.007
28	0.0211	47.5	-0.006
29	0.0206	48.5	-0.005
30	0.0200	49.5	-0.005
31	0.0194	50.5	-0.004
32	0.0187	51.5	-0.003
33	0.0180	52.5	-0.002
34	0.0172	53.5	-0.001
35	0.0164	54.5	0.000
36	0.0156		
37	0.0148		
38	0.0139		
39	0.0131		
40	0.0123		
41	0.0115		
42	0.0106		
43	0.0098		
44	0.0090		
45	0.0082		
46	0.0074		
47	0.0066		
48	0.0058		
49	0.0050		
50	0.0042		
51	0.0034		
52	0.0025		
53	0.0017		
54	0.0009		
55	0.0000		

BIODATA PENULIS



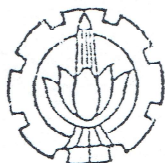
Dicky Pratama S.

Penulis dilahirkan di Surabaya, 25 Mei 1995, yang merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDK st. Theresia I (Surabaya), SMPK Angelus Custos I (Surabaya) dan SMAK Frateran (Surabaya). Setelah lulus dari SMAK Frateran Surabaya, penulis masuk perguruan tinggi negeri melalui jalur SNMPTN di Jurusan Teknik Sipil – Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dengan NRP 3113100047. Di jurusan Teknik Sipil ini, Penulis mengambil bidang studi Geoteknik. Selama masa perkuliahan penulis cukup aktif dalam mengikuti kepanitiaan dalam beberapa kegiatan, seperti ICCER (2016) dan CIVEX (2016), dan beberapa kegiatan lomba nasional, seperti KBGI (2015) dan lainnya.

Project : STORAGE UREA
 Location : PT.PETRO KIMIA (PERSERO) GRESIK
 Bor No. : BH-1
 Elevation : - mt.
 Date : 08-7-1990

BORE HOLE LOG

Depth (m)	Bor Log	Soil Description	Color	SPT (N) Number of Blows/feet	GWL	Remark
0.00		Lempung berlanau	Coklat		No GWL	GWL = Ground Water Level
1.00						
2.00		Lempung berlanau	Abu-abu	9		
3.00						
4.00				11		
5.00						
6.00				16		
7.00		Lempung berlanau berpasir	Abu-abu			
8.00				18		
9.00						
10.00				25		
11.00		Lempung berlanau berpasir, berke- rikil.	Abu-abu			
12.00				23		
13.00						
14.00		Lempung berlanau berpasir	Abu-abu	22		
15.00						
16.00				31		



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

ITS

MEASURED BY		
DRAWN BY		
APPROVED BY		
SCALE		

11

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Get Number: 1

[illegible][illegible]

NOT TESTED

[illegible]

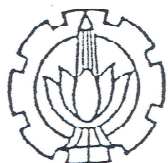
CH = CLAY WITH HIGH PLASTICITY
CL = CLAY WITH LOW PLASTICITY
ML = CLAYEY SILT

LABORATORIUM KEKAYAAN TANAH
BIRD FAIRKS - ITS

Project : STORAGE UREA
 Location : PT.PETRO KIMIA (PERSERO) GRESIK
 Bor No. : BH-2
 Elevation : - mt.
 Date : 12-7-1990

BORE HOLE LOG

Depth (m)	Bor Log	Soil Description	Color	SPT (N) Number of Blows/feet	GWL	Remark
0.00		Lempung berlanau berpasir	Abu-abu	8	No. GWL	GWL = Ground Water- Level
1.00						
2.00		Lempung berlanau berpasir + kapur	Coklat	10		
3.00						
4.00		Lempung berlanau	Coklat kekuning- an	19		
5.00						
6.00		Lempung berlanau berpasir	Kuning kecoklatan	12		
7.00						
8.00		Pasir berlanau	Coklat	23		
9.00						
10.00		Lempung berlanau	Coklat kekuningan	22		
11.00						
12.00				23		
13.00						
14.00		Lempung berlanau	Coklat kekuningan	35		
15.00						
16.00						



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

I T S

MEASURED BY		
DRAWN BY		
APPROVED BY		
SCALE		

PROJECT : STORAGE AREA
 LOCATION : P. PETRO KINTA (PERSENO)
 BORING NO. : B-2

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Sheet Number: 2

Depth (#)	Sieve & Hydrometer (#)	Grading Passing Sieve No. (%)	Atterberg- Limits (%)	Soil Spec- Classi- fic gra- ficiati- vity on	Natural state			Uncon- fined	Triaxial			Consolidation										
					Yc	Wc	Ss		UU	C	0	C	0	Pp	Dc	cv						
6	5	5-C	10	40	200	KL	PL	FI	BS	Yt	Wc	Yc	e	n	qu	C	0	C	0	Pp	Dc	cv
1.5-2.0	2	10	88	96	93	88	74.85	42.21	32.64	CH	2,643	1,731	40.23	1.14	53.29	0.93	**	**	**	**	**	**
3.5-4.0	10	9	81	89	86	81	76.88	26.61	50.27	CH	2,682	1,742	33.32	1.10	51.28	1.25	**	**	**	0.75	0.399	1.291E-03
5.5-6.0	0	6	94	99	99	94	97.85	43.34	54.51	CH	2,627	1,637	49.15	1.19	58.22	1.84	**	**	**	**	**	**
7.5-8.0	11	19	70	85	80	70	97.09	28.87	48.22	CH	2,792	1,724	41.73	1.21	56.43	1.21	0.70	0	**	**	**	**
9.5-10.0	7	46	45	86	67	45	43.65	17.94	25.71	SC	2,704	1,944	21.78	1.59	40.96	2.45	**	**	**	**	**	**
11.5-12.0	0	0	94	99	97	94	93.15	23.52	54.03	C	2,701	1,824	31.11	1.19	48.49	2.35	**	**	**	**	**	**
13.5-14.0	0	5	95	100	97	95	75.15	25.57	49.46	C	2,672	1,872	32.18	1.11	47.50	2.48	**	**	**	0.80	0.563	5.552
15.5-16.0	0	7	91	100	95	91	76.75	42.26	34.49	C	2,749	1,866	28.95	1.14	47.36	2.85	**	**	**	**	**	**



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 BIRU FATEKS - ITS

** = NOT TESTED
 CH = CLAY WITH HIGH PLASTICITY
 CL = CLAY WITH LOW PLASTICITY
 ML = CLAYEY SILT

REMARKS :

SL = NET DENSITY (gr/cc)
 WC = WATER CONTENT (%)
 Yd = DRY DENSITY (gr/cc)
 e = VOID RATIO
 n = POROSITY (%)
 BS = SPECIFIC GRAVITY
 C = COHESION (kg/cm²)
 0 = ANGLE OF INTERNAL FRICTION (degree minutes)
 Pp = PRECONSOLIDATION PRESSURE (kg/cm²)
 Dc = COMPRESSION INDEX
 cv = COEFFICIENT OF CONSOLIDATION (cm²/sec)
 untuk tekan P=5.0 kg/cm²



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLOLO TELP. 031-5946094-Fax (031) 5947284 SURABAYA (60111)

GAMBAR PROFIL BORING

PROJECT : PETRO KIMIA GRESIK

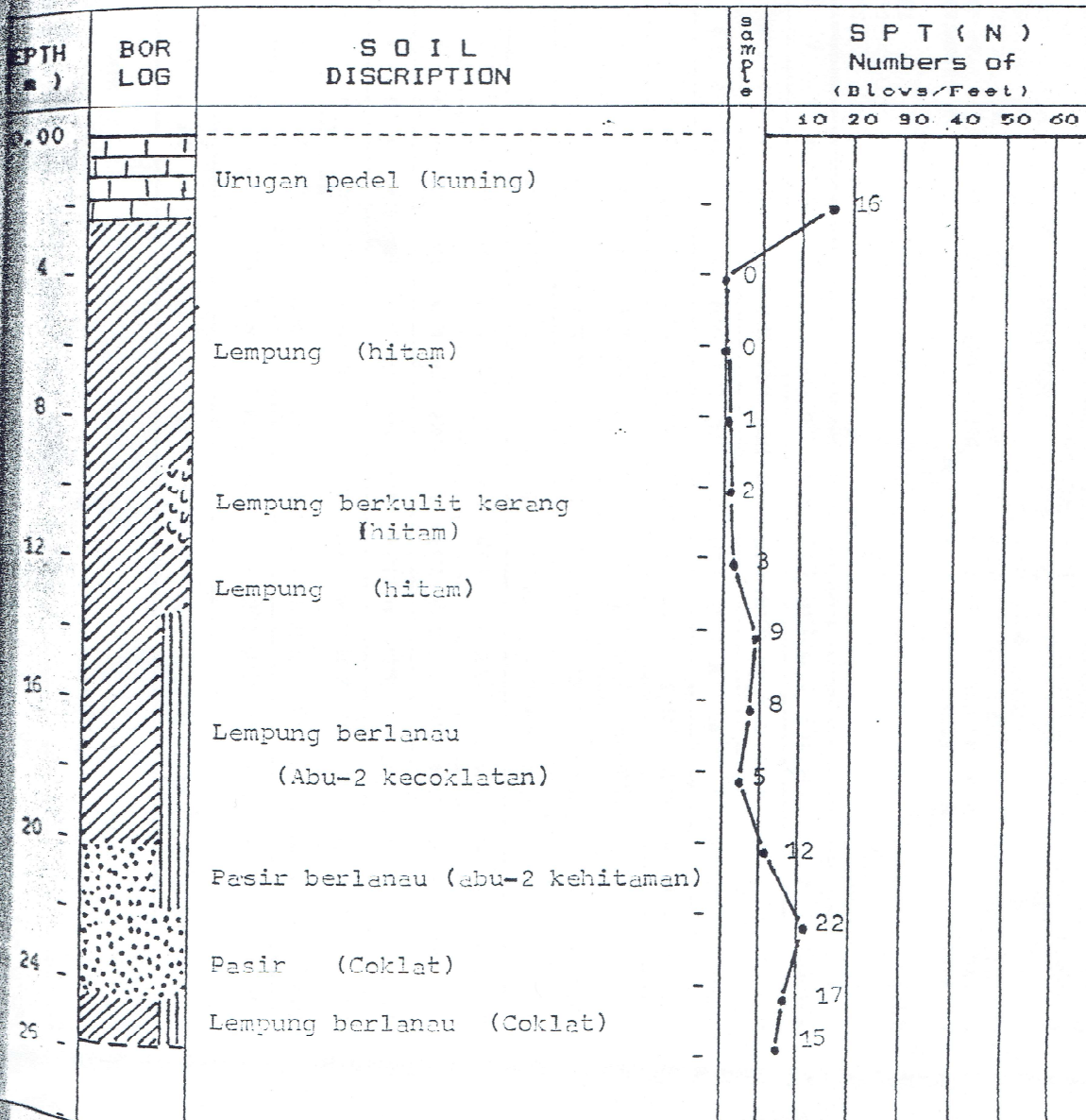
BOR HOLE NO. : B.2.

LOCATION : LAMONGAN.

DATE : 10 Juli 1996.

Remark :

x x x top soil clay sand -v- groundwater level
silt gravel shell undisturbed samples



PROJECT : PT. PETRO KIMIA GRESIK (PERSERO)
 LOCATION : LAMONGAN
 BOR HOLE NO.: B.2

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Table 1 : (LANJUTAN)

Depth (m)	Sieve & Hydrometer (%)	Atterberg Limits (%)	Natural state				Unconfined Shear	Direct Shear	Triaxial UU	Vane Test	Consolidation test			Coefficient of perme- ability									
	B	S	LL	PL	PI	Gs	Yt	Mc	e	n	Sr	Iu	qu	C	Q	Cu	Qu	T	P ₂	Cc	Cv (t.50)	k	
1.50-2.00	0	18	82	67.00	33.91	33.09	12.510	1.562	57.42	0.992	1.530	60.47	94.2	0.400	+	+	0.360	0.0	+	0.312	0.527	2.74E-04	7.03E-09
3.50-4.00	0	11	89	65.00	34.76	30.24	12.503	1.591	61.61	0.985	1.542	60.66	100	0.392	+	+	0.070	0.0	+	0.440	0.623	2.53E-04	5.46E-09
5.50-6.00	0	11	89	59.00	31.62	27.38	12.530	1.646	54.15	1.068	1.370	57.81	100	0.360	+	+	0.110	0.0	+	0.559	0.442	5.05E-04	8.52E-09
7.50-8.00	0	13	87	61.50	32.38	28.72	12.529	1.521	76.51	0.862	1.935	65.93	100	0.360	+	+	0.125	0.0	+	0.463	0.720	2.59E-04	9.15E-09
9.50-10.00	1	24	75	70.50	34.27	36.23	12.650	1.660	56.60	1.060	1.500	60.00	100	0.350	+	+	0.170	0.0	+	0.793	0.667	2.59E-04	7.18E-09
11.50-12.00	0	9	91	72.00	33.14	38.36	12.640	1.745	45.45	1.200	1.200	54.55	100	0.700	+	+	0.330	0.0	+	0.944	0.398	2.73E-04	4.34E-09
13.50-14.00	0	14	86	80.00	34.91	46.99	12.650	1.717	49.06	1.152	1.300	56.52	100	0.100	+	+	0.300	0.0	+	1.087	0.429	3.46E-04	8.28E-09
15.50-16.00	0	12	88	81.00	36.82	44.18	12.670	1.642	59.93	1.027	1.600	61.54	100	0.250	+	+	0.300	0.0	+	1.215	0.684	1.49E-04	2.87E-09
17.50-18.00	0	8	92	80.50	34.92	46.18	12.738	1.718	51.86	1.131	1.420	58.68	100	0.100	+	+	0.450	0.0	+	1.358	0.651	3.45E-04	9.04E-09
19.50-20.00	2	26	72	69.00	35.23	33.77	12.871	1.725	55.07	1.112	1.581	61.26	100	0.220	+	+	0.550	0.0	+	1.503	0.751	3.13E-04	7.27E-09
21.50-22.00	2	63	35	NP	NP	NP	12.790	1.908	34.53	1.418	0.960	48.98	100	+	+	0.00	34.0	+	+	+	+	+	3.14E-05
23.50-24.00	3	67	30	NP	NP	NP	12.766	1.918	33.41	1.438	0.924	48.02	100	+	+	0.00	32.0	+	+	+	+	+	3.67E-05
25.00-25.50	0	21	79	72.00	35.40	36.40	12.780	1.742	50.36	1.158	1.400	58.33	100	0.200	+	+	1.300	0.0	+	1.979	0.638	3.66E-04	8.05E-09

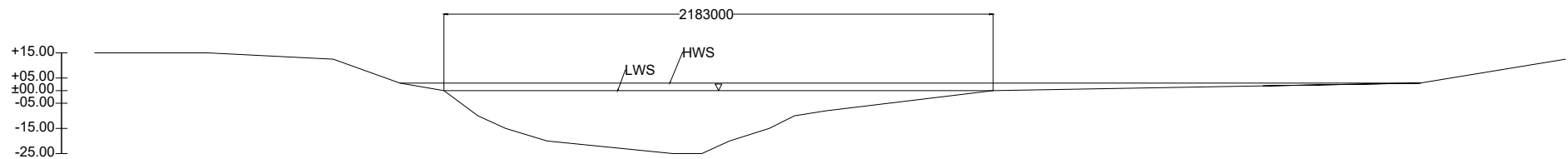
SOIL MECHANICS LABORATORY
 CIVIL ENGINEERING AND PLANNING FACULTY - ITS
 ITS CAMPUS SURABAYA

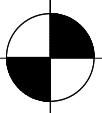
REMARKS :

G = GRAVEL
 S = SAND
 S+C = SILT + CLAY
 LL = LIQUID LIMIT
 PL = PLASTIC LIMIT
 PI = PLASTICITY INDEX
 NP = NON PLASTIC

C = COHESION (kg/cm²)
 q = ANGLE OF INTERNAL FRICTION (degree, minutes)
 Pp = PRECONSOLIDATION PRESSURE (kg/cm²)
 Cc = COMPRESSION INDEX
 Cv = COEFFICIENT OF CONSOLIDATION (cm²/sec)
 T = TORQUE (kg/cm²)
 k = COEFFICIENT OF PERMEABILITY (cm/sec)

qu = UNCONFINED (UNDISTURBED)
 qu_u = UNCONFINED (REMOLED)
 St = SENSITIVITY RATIO (qu/qu_u)
 Cu = UNDRAINED COHESION (kg/cm²)
 Qu = ANGLE INTERNAL FRICTION OF
 + = UNDRAINED (degree, minutes)
 + = NOT TESTED
 ** = NOT TESTED (ROCK)




Elevasi Eksisting di Sekitar Rute A
 Skala 1 : 2500



Jurusan Teknik Sipil - FTSP
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2015

No.
Gambar

1

Total
Gambar

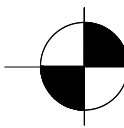
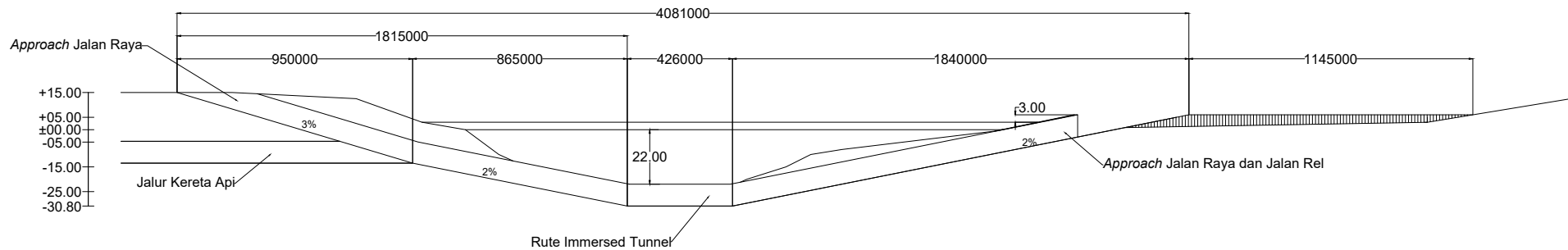
9

Skala

H = 1 : 2500
 V = 1 : 25000

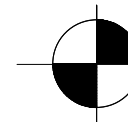
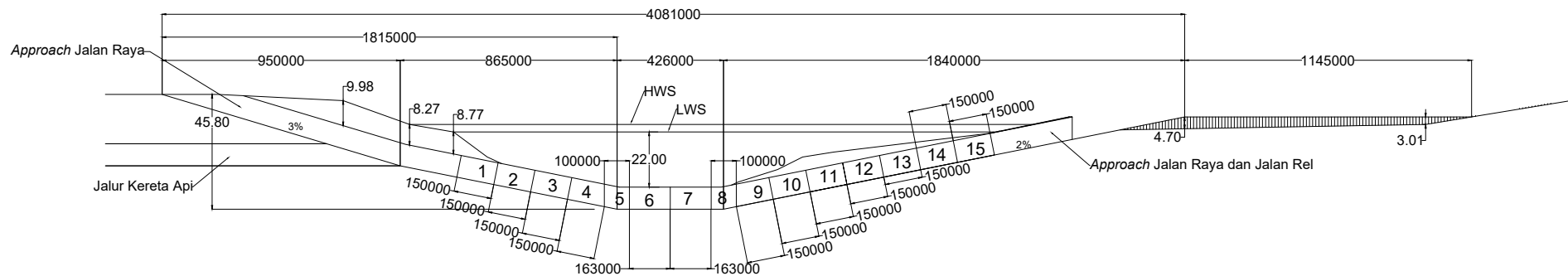
Nama Gambar

Perencanaan Segmen dan *Backfill*



Perecanaan Elevasi dan Rute Terowongan

Skala 1 : 2500



Perencanaan Pembagian Segmen

Skala 1 : 2500



Jurusan Teknik Sipil - FTSP
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

No.
Gambar

2

Total
Gambar

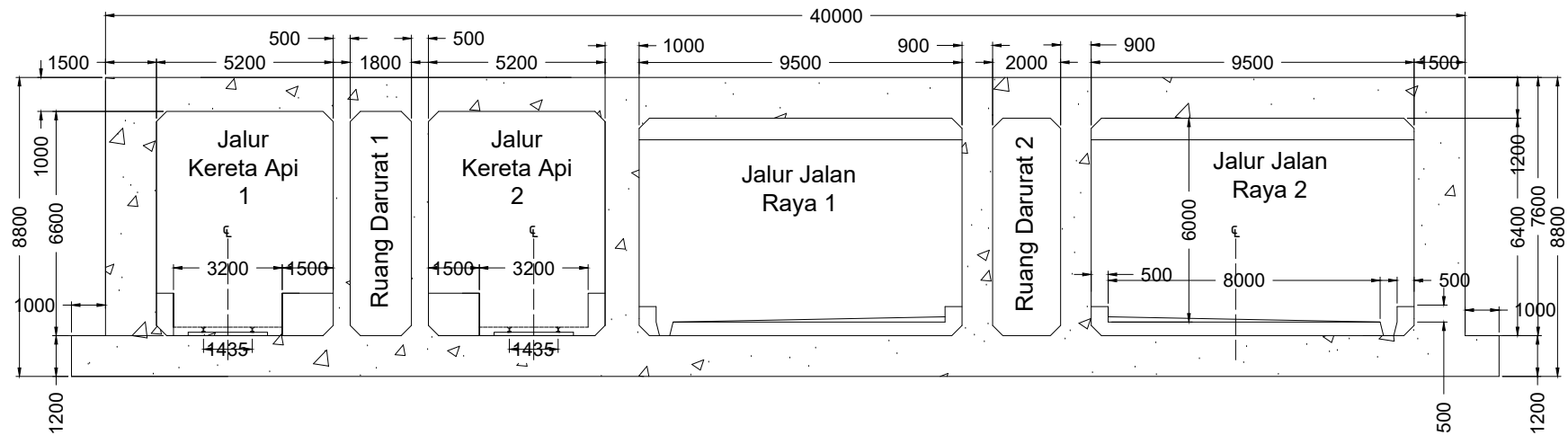
9

Skala

H = 1 : 2500
V = 1 : 25000

Nama Gambar

Perecanaan Rute, Elevasi dan Segmen
Immersed Tunnel




Penampang Segmen
 Skala 1 : 200



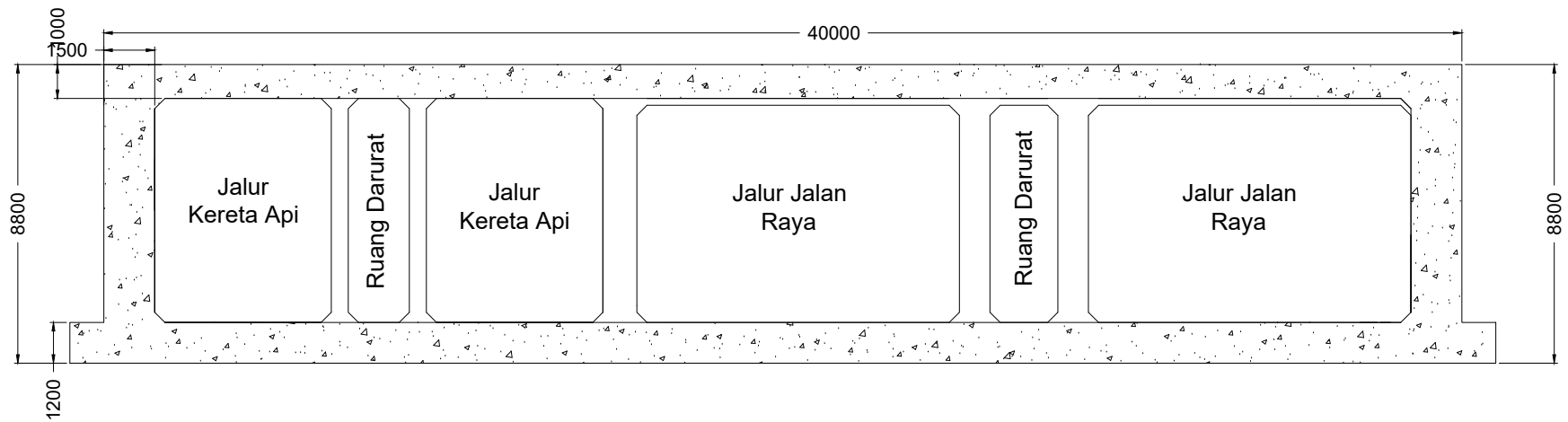
Jurusan Teknik Sipil - FTSP
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2015


No.
 Gambar
 3


Total
 Gambar
 9

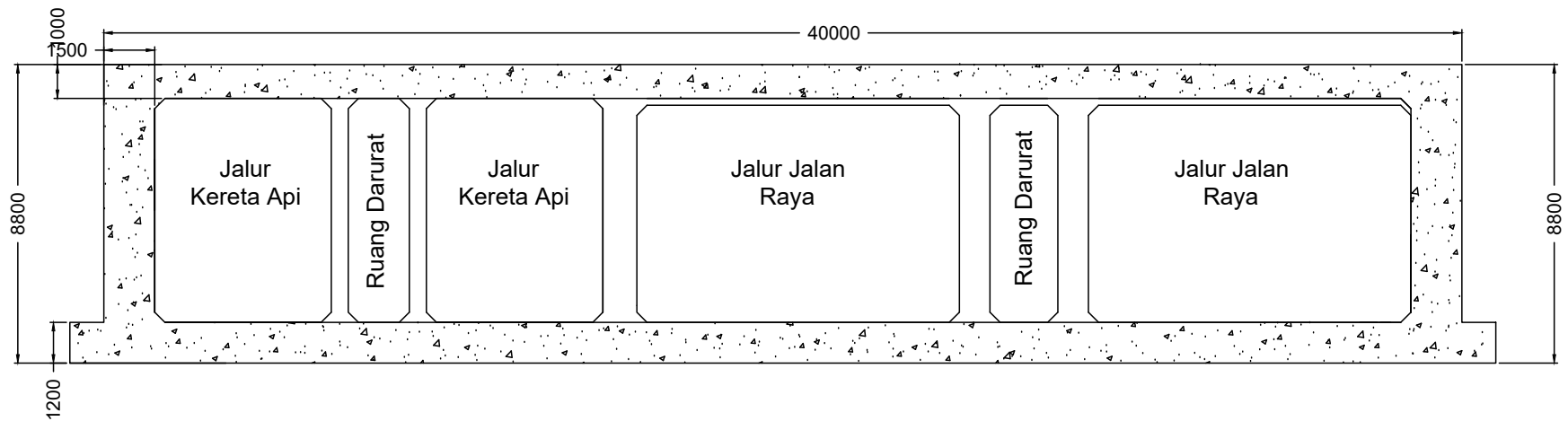
Skala
 1 : 200

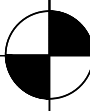
Nama Gambar
 Penampang Segmen




Penampang Segmen di Ujung Segmen
 Skala 1 : 200

	Jurusan Teknik Sipil - FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2015	No. Gambar	Total Gambar	Skala	Nama Gambar
		5	9	1 : 200	Penampang Segmen di Ujung Segmen



 **Penampang Segmen di Ujung Segmen**
Skala 1 : 200



Jurusan Teknik Sipil - FTSP
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

No.
Gambar

5

Total
Gambar

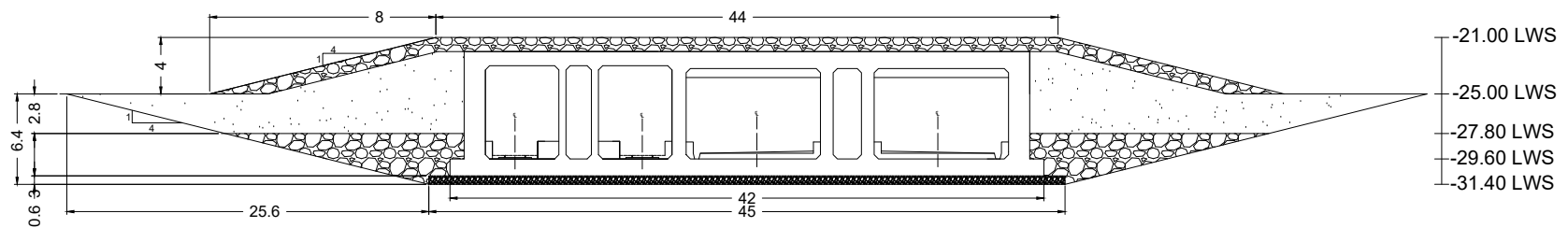
9


Skala

1 : 200

Nama Gambar

Penampang Segmen di Ujung Segmen




Perencanaan Elevasi Segmen dan *Backfill*
 Skala 1 : 500



Jurusan Teknik Sipil - FTSP
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2015

No.
 Gambar
 6

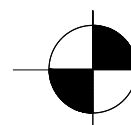
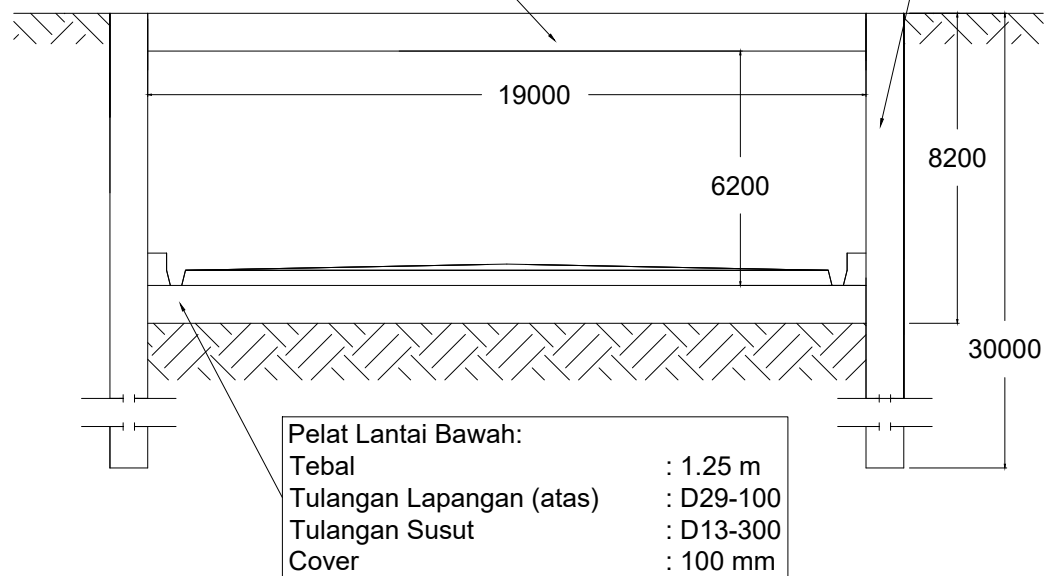
Total
 Gambar
 9

Skala
 1 : 500

Nama Gambar
 Perencanaan Elevasi Segmen dan *Backfill*

Pelat Lantai Bawah:
 Tebal : 1.0 m
 Tulangan Lapangan (bawah) : D29-50
 Tulangan Tumpuan (atas) : D29-50
 Tulangan Susut : D13-300
 Cover : 100 mm

Soldier Pile (*Bored Pile*):
 Diameter : 1 m
 Tulangan : 10D32
 Cover : 100 mm



Penulangan Struktur pada *Approach* Model 2

Skala 1 : 200



Jurusan Teknik Sipil - FTSP
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2015

No.
Gambar

8

Total
Gambar

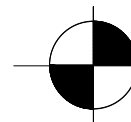
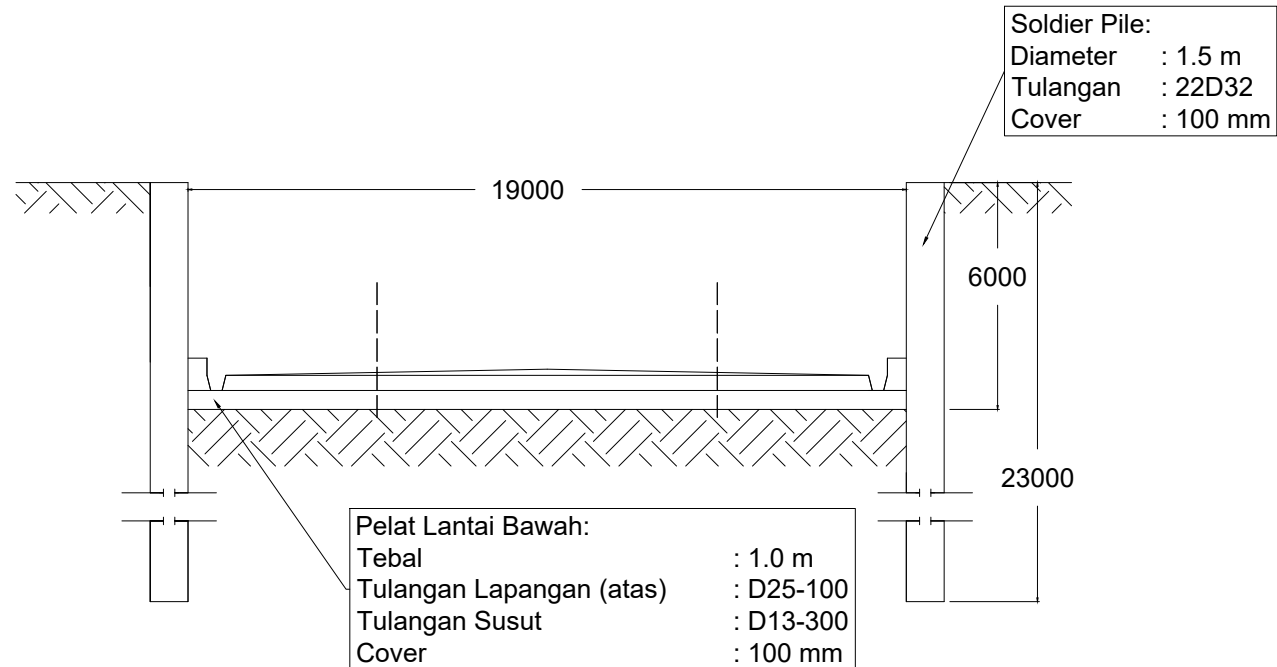
9

Skala

1 : 200

Nama Gambar

Penulangan Struktur *Approach* Model 2



Penulangan Struktur pada *Approach* Model 1

Skala 1 : 200



Jurusan Teknik Sipil - FTSP
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

No.
Gambar

7

Total
Gambar

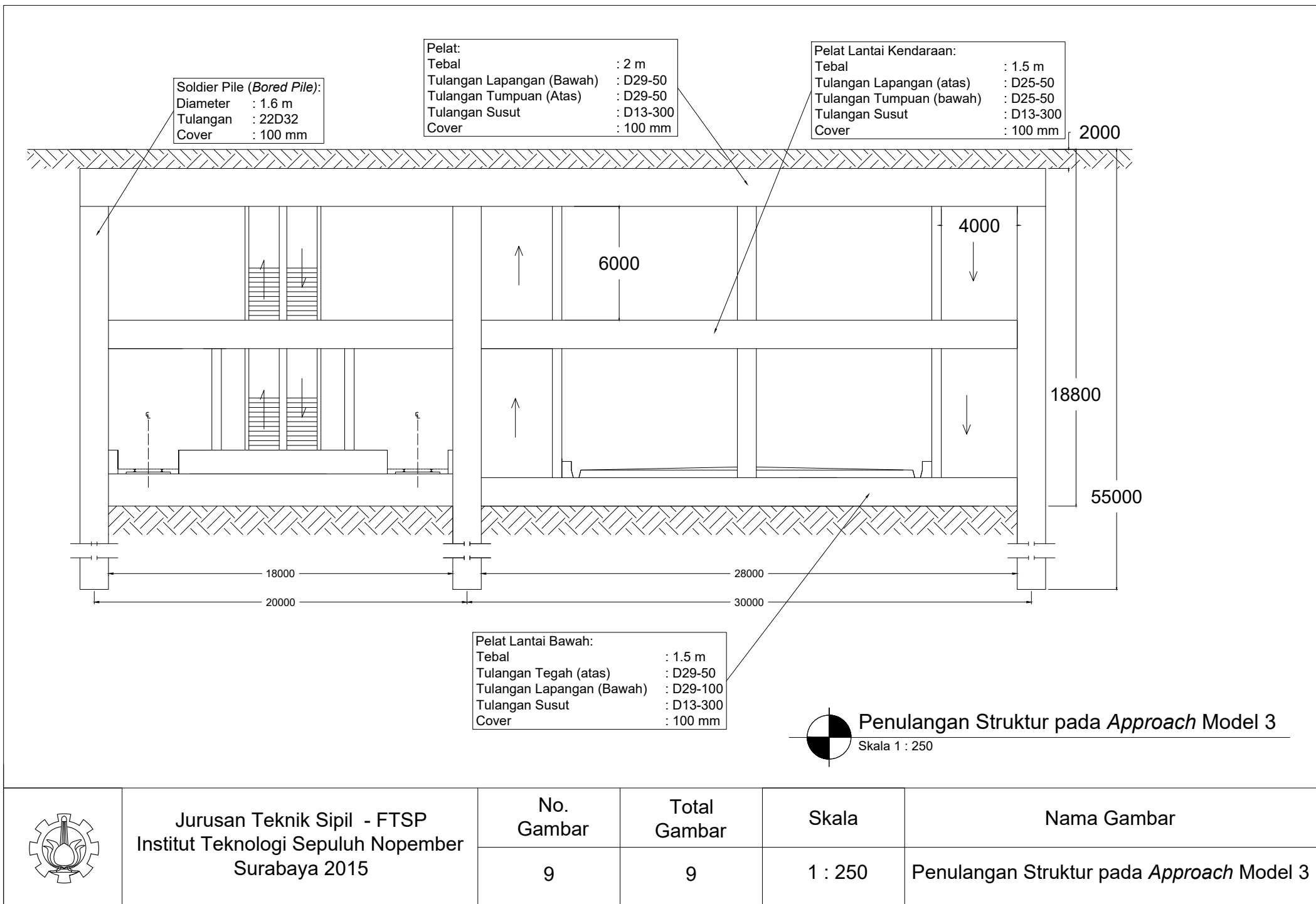
9

Skala

1 : 200

Nama Gambar

Penulangan Struktur *Approach* Model 1



Jurusan Teknik Sipil - FTSP
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2015

No.
Gambar

9

Total
Gambar

9

Skala

1 : 250

Nama Gambar

Penulangan Struktur pada Approach Model 3